



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

EMANUEL FRANÇA ARAÚJO

PROPAGAÇÃO DE *Paratecoma peroba* POR MINIESTAQUIA

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

EMANUEL FRANÇA ARAÚJO

PROPAGAÇÃO DE *Paratecoma peroba* POR MINIESTAQUIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientadora: Prof. D.Sc^a. Elzimar de Oliveira Gonçalves

Coorientador: Prof. D.Sc. Marcos Vinícius Winckler Caldeira

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

A658p Araújo, Emanuel França, 1988-
Propagação de Paratecoma peroba por miniestaquia / Emanuel
França Araújo. - 2020.
145 f. : il.

Orientadora: Elzimar de Oliveira Gonçalves.
Coorientador: Marcos Vinícius Winckler Caldeira.
Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Plantas em extinção. 2. Plantas - Propagação. 3. Recursos do
germoplasma. 4. Mudanças - Qualidade. 5. Reflorestamento. I.
Gonçalves, Elzimar de Oliveira. II. Caldeira, Marcos Vinícius
Winckler. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630*38

PROPAGAÇÃO DE *Paratecoma peroba* POR MINIESTAQUIA

Emanuel França Araújo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

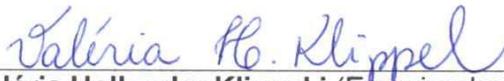
Aprovada em 28 de fevereiro de 2020



Prof.ª. Dr.ª. Deborah Guerra Barroso (Examinadora externa)
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro



Dr.ª. Talita Miranda Teixeira Xavier (Examinadora externa)
Universidade Federal do Espírito Santo



Dr.ª. Valéria Hollunder Klippel (Examinadora externa)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Rodrigo Sobreira Alexandre (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof.ª. Dr.ª. Elzimar de Oliveira Gonçalves (Orientadora)
Universidade Federal do Espírito Santo

DEDICATÓRIA

Especialmente para meus pais, meu irmão, minha filha e meus avós, que sempre incentivaram minha formação e acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

É um momento de muita alegria e meu coração está carregado de gratidão. Agradeço a Deus, por me conceder força para realização dessa missão. Agradeço também pelas pessoas que colocou em meu caminho. Algumas delas me inspiram, me ajudam, me desafiam e me encorajam a ser cada dia melhor. Devo reconhecer que as coisas boas e adversas que me aconteceram representaram para mim a expressão de um contínuo processo de aprendizado. Foi essa jornada de tropeços, vitórias e derrotas, que me fizeram chegar até esta importante conquista.

À minha família, em especial aos meus pais Francisco das Chagas Cipriano Araújo e Deuselina França Batista Araújo, meu porto seguro, pela vida, pelo amor incondicional e genuíno, a educação, o incentivo em todas as etapas da minha vida. Apenas posso agradecer por tudo que vocês fazem por mim, pois nunca conseguirei compensar devidamente a dedicação que sempre manifestaram. Agradeço aos meus queridos avós Seu Roberval Batista (*in memoriam*), Dona Maria do Socorro França (*in memoriam*) e Dona Maria Lenir Cipriano por sempre acreditarem em mim. Ao irmão Edâmerson Chagas (Damin) pelo apoio emocional e financeiro em alguns momentos e torcida. À minha princesa Ingrid Emanuelle Dias Araújo, minha fonte de inspiração.

A todos os professores que tive na minha vida estudantil, desde o Colégio Cristão Peniel, passando pelo Colégio Técnico de Bom Jesus e Universidade Federal do Piauí até a Universidade Federal do Espírito Santo. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (UFES), pela oportunidade de ampliar e aprimorar meus conhecimentos.

À minha orientadora, a professora Elzimar de Oliveira Gonçalves pelo apoio, paciência, confiança, atenção e contribuição ao meu crescimento profissional. Da mesma forma, agradeço ao meu coorientador Marcos Vinicius Caldeira e professor Alexandre Rosa, pela amizade, respeito, motivação e colaboração no meu crescimento. Ao professor José Pezzopane, por permitir que a utilização do seu laboratório de pesquisa e todos os equipamentos necessários.

A Ana Lídia Barbosa pela compreensão, companheirismo e ajuda com o experimento em alguns momentos. Agradeço aos meus amigos de sempre Kaíse Souza e Genilda Amaral pela incalculável amizade e parceira que formamos desde a graduação em Engenharia Florestal, até o final do doutorado. A Jeferson Martins e Taís Rizzo, irmãos que a vida me presenteou, obrigado pela boa convivência durante esses anos, deixo minha gratidão, respeito e admiração.

Agradeço a Aline Ramalho e Elbya Leão, pela amizade, parceria e a produtiva equipe de propagação de espécies florestais que formamos. À Elayne Galvão e Caroline Tavares, pela ajuda com medições com o IRGA. Aos amigos especiais, que me proporcionaram vários momentos de descontração, passeios e vários churrascos, se tornando uma família, Anny, Isária, Sofia, Tiago, Tia Cida, Henrique, Jeangelis, Evandro, Ramon, Natan, Márcia e Milton.

Aos amigos do HERBÁRIO, Júlia, Elias, Raniéri, Roberto, Raquel, Paulo André, Kelly, Lhorayne, Patrícia Dias, Rodrigo Maurício, Guilherme, João Paulo, Eduardo, Kallil, Vitor, Juliana, Naiara, João Mário, pelas histórias, companhia, risadas e cafés compartilhados. Agradeço aos demais amigos que conquistei na Pós-Graduação, Ana Paula, Jean, Fran, Sandro, Rita, Gizely, Luciana, Elayne, Lunalda, Mariana, Fabrina, Simony, Quétilla, Paulo, Lucas, André e Fábio.

Ao meu grupo de pesquisa NUPEMASE, os laboratórios LMEF e NUQMADE pelo apoio na realização deste trabalho, e aos grupos de pesquisa LaMFlor, GAGEN e NUPEME pela parceria em outras pesquisas.

Agradeço a Patrícia Dias de Amorim, Rosileide França, Socorro Trindade, Tio Agenor, Tia Edileuza, tia Karlísia, Edim (primo) e Naiara Rios (prima), pessoas especiais e importantes na vida, que mesmo estando longe acompanharam e torceram por mim. Aos amigos da querida e calorosa cidade de Jerônimo Monteiro, os senhores Otávio, Leandro, Teresinha, Nicola, Antônio Lanches, Marco Antônio, Joenis, Robson, Larissa, Juninho Patta, Adolfo Junior, Seu Sebastião, Marco Antônio, Gislaine.

Aos membros da banca, pelas preciosas contribuições e sugestões.

A CAPES, FAPES e SAEG, pelo apoio financeiro e concessão de bolsa.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram ou torceram por mim nessa jornada, deixo minha gratidão e compartilho a alegria desta maravilhosa conquista.

BIOGRAFIA

Emanuel França Araújo, nascido em 28 de outubro de 1988 na cidade de Bom Jesus, PI, filho de Francisco das Chagas Cipriano Araújo e Deuselina França Batista Araújo, tendo como irmão, Edâmerson Chagas França Araújo, e pai de Emanuelle Dias Araújo. É Técnico em Segurança do Trabalho, formado pelo Instituto Federal do Piauí (IFPI), e em Técnico Agropecuária e Engenheiro Florestal pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica - PIBIC/UFPI de 2011 a 2012. Em 2013 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas da UFPI, na área de concentração em Ciência do solo e linha de pesquisa: Recursos Ambientais, Uso e Manejo do Solo e da Água. No ano de 2015 terminou o mestrado e foi professor substituto nos cursos de Engenharia Florestal e Agronomia na mesma instituição durante seis meses. Em março de 2016 mudou-se para a querida Jerônimo Monteiro, ES, onde cursou doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGCFL-UFES), na linha de pesquisa Silvicultura, onde desenvolveu pesquisas com espécies florestais nativas da magnífica Floresta Atlântica, em especial a Peroba amarela. Durante este período concluiu 68 créditos, mais algumas disciplinas como ouvinte, buscou sempre aprender e trabalhar em equipe com outros membros do seu laboratório, o NUPEMASE, e parcerias com outros laboratórios do programa. Dessa forma, publicou alguns artigos científicos, contribuindo de alguma forma para o crescimento do PPGCFL-UFES.

“Seja quem você for, qualquer posição que você tenha na vida, nível altíssimo ou mais baixo, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”.

Ayrton Senna

RESUMO

ARAÚJO, Emanuel França. **Propagação de *Paratecoma peroba* por miniestaquia**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientadora: Elzimar de Oliveira Gonçalves. Coorientador: Marcos Vinicius Winckler Caldeira.

A espécie florestal *Paratecoma peroba* (Record e Mell) Kuhl, pertence à família Bignoniaceae, sendo nativa da Floresta Atlântica, apresentando relevante interesse ecológico e econômico. Possui uma restrita área de ocorrência natural no interior de florestas costeiras do leste do Brasil. A beleza e qualidade de sua madeira levou à uma intensa exploração no passado e que culminou no declínio das populações da espécie. Atualmente encontra-se em perigo crítico de extinção. As sementes da espécie *P. peroba* perdem a viabilidade rapidamente, o que restringe a produção de mudas. Devido à vulnerabilidade da espécie, tornam-se necessários estudos que avaliem formas de conservação e alternativas de propagação. Desse modo, objetivou-se com este estudo analisar a viabilidade da técnica miniestaquia na propagação vegetativa da *P. peroba*. Os experimentos foram realizados no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo, município de Jerônimo Monteiro-ES. A tese foi estruturada em quatro capítulos. No capítulo 1, estabeleceu-se um protocolo de propagação vegetativa via miniestaquia para *P. peroba*. Para isso analisou-se a influência do substrato, do ácido indol-3-butírico (AIB), o tipo de miniestaca e da área foliar no enraizamento de miniestacas. No capítulo 2, objetivou-se analisar o efeito de substratos formulados à base de diferentes proporções de esterco bovino em diferentes volumes de tubetes no enraizamento e crescimento de mudas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia. No capítulo 3, objetivou-se com este estudo analisar o efeito de diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) no enraizamento, crescimento, metabolismo fotossintético e balanço nutricional de mudas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia. No capítulo 4, objetivou-se analisar a influência do ambiente e da adubação mineral do potássio (K) na produtividade, ecofisiologia e nutrição de minicepas e o efeito residual no enraizamento miniestacas. Os resultados indicam que a espécie apresenta aptidão à miniestaquia com até 82,5% de enraizamento. O substrato afeta o enraizamento, não sendo indicada areia e outros materiais densos. O AIB promove redução linear do enraizamento. Recomenda-se o uso de miniestacas com 10 cm e 100%

da área foliar. O tubete de 180 cm³, e o substrato comercial à base de *Pinus* enriquecido com FLC na dose 6 kg m⁻³ é eficiente na produção de mudas da espécie. Os resultados apontam ainda que temperaturas maiores, menor umidade do ar, DPV maior e CO₂ atmosféricos estimulam a produtividade e promovem um melhor equilíbrio nutricional de plantas matrizes. Ambientes com alta umidade não são adequados ao cultivo de plantas matrizes de *P. peroba*. A adubação mineral com K influencia positivamente a concentração de clorofila e as trocas gasosas. O ambiente e o K não influenciaram a porcentagem de enraizamento das miniestacas da espécie. Estas descobertas guiarão práticas de conservação da *P. peroba* e a produção de clones para plantios comerciais.

Palavras-chave: Peroba amarela, enraizamento adventício, conservação de germoplasma, protocolo de propagação; silvicultura clonal.

ABSTRACT

ARAÚJO, Emanuel França. **Propagation of *Paratecoma peroba* by mini-cutting**. 2020. Thesis (Doctorate in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Elzimar de Oliveira Gonçalves. Co-advisor: Marcos Vinicius Winckler Caldeira.

The forest species *Paratecoma peroba* (Record and Mell) Kuhlm, belongs to the family Bignoniaceae, being native to the Atlantic Forest, presenting relevant ecological and economic interest. It has a restricted area of natural occurrence within the coastal forests of eastern Brazil. The beauty and quality of its wood has led to intense exploitation in the past, which culminated in the decline of the species' populations. It is currently in critical danger of extinction. The seeds of the species *P. peroba* lose their viability quickly, which restricts the production of seedlings. Due to the species' vulnerability, studies are needed to assess conservation methods and propagation alternatives. Thus, the aim of this study was to analyze the viability of the mini-cutting technique in the vegetative propagation of *P. peroba*. The experiments were carried out at the Department of Forestry and Wood Sciences of the Center for Agricultural Sciences and Engineering belonging to the Federal University of Espírito Santo, city of Jerônimo Monteiro, Espírito Santo state, Brazil. The thesis was structured in four chapters. In chapter 1, a vegetative propagation protocol via mini-cuttings was established for *P. peroba*. For this purpose, the influence of the substrate, indole-3-butyric acid (IBA), the type of mini-cutting and leaf area on the rooting of mini-cuttings was analyzed. In chapter 2, the objective was to analyze the effect of substrates formulated based on different proportions of bovine manure in different volumes of tubes in the rooting and growth of *P. peroba* seedlings propagated by mini-cutting. In chapter 3, the objective of this study was to analyze the effect of different doses of controlled release fertilizer (CRF) on rooting, growth, photosynthetic metabolism and nutritional balance of *P. peroba* seedlings propagated by mini-cutting. In chapter 4, the objective was to analyze the influence of the environment and the mineral fertilization of potassium (K) on productivity, ecophysiology and nutrition of parent plants and the residual effect on rooting mini-cuttings. The results indicate that the species is capable of mini-cutting with up to 82.5% rooting. The substrate affects rooting, sand and other dense materials are not indicated. The IBA promotes linear reduction of rooting. The use of mini cuttings with 10 cm and 100% of the leaf area is recommended. The tube of 180 cm³, and the commercial substrate based on Pinus enriched with CRF in the dose 6 kg m⁻³ is efficient in the production of seedlings of

the species. The results also show that higher temperatures, lower air humidity, higher DPV and atmospheric CO₂ stimulate productivity and promote a better nutritional balance of parent plants. High humidity environments are not suitable for the cultivation of *P. peroba* parent plants. Mineral fertilization with K positively influences chlorophyll concentration and gas exchange. The environment and K did not influence the rooting percentage of the mini-stakes of the species. These discoveries will guide conservation practices for *P. peroba* and the production of clones for commercial plantations.

Keywords: Peroba amarela, adventitious rooting, germplasm conservation, propagation protocol; clonal forestry.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	<i>Paratecoma peroba</i> (Record e Mell) Kuhlmann	19
2.2	Propagação vegetativa de espécies florestais por miniestaquia	20
3	REFERÊNCIAS	26
4	CAPÍTULO 1 – MINI-CUTTING TECHNIQUE FOR VEGETATIVE PROPAGATION OF <i>Paratecoma peroba</i> ¹	32
	ABSTRACT	32
	RESUMO	33
1	INTRODUCTION	34
2	MATERIAL AND METHODS	36
2.1	Study area	36
2.2	Establishment of the mini-clonal hedge	36
2.3	Experiment 1 – Substrates and IBA in the rhizogenesis of <i>Paratecoma peroba</i>	37
2.4	Experiment 2 – Types of mini-cuttings and leaf area in the rhizogenesis of <i>Paratecoma peroba</i>	39
2.5	Statistical analysis	40
3	RESULTS	41
3.1	Substrates and IBA in the rhizogenesis of <i>Paratecoma peroba</i>	41
3.2	Type of mini-cuttings and leaves in the rhizogenesis rhizome of <i>Paratecoma peroba</i>	42
4	DISCUSSION	46
4.1	Substrates and IBA in rhizogenesis of <i>Paratecoma peroba</i>	46
4.2	Types of mini-cutting and leaves in the rhizogenesis of <i>Paratecoma peroba</i>	47
5	CONCLUSIONS	51
6	REFERENCES	52
5	CAPÍTULO 2 – ESTERCO BOVINO COMO COMPONENTE DE SUBSTRATO E VOLUME DO TUBETE NO ENRAIZAMENTO E CRESCIMENTO DE MUDAS DE <i>Paratecoma peroba</i>	58
	RESUMO	58
	ABSTRACT	59
1	INTRODUÇÃO	60
2	MATERIAL E MÉTODOS	62
2.1	Área de estudo	62
2.2	Preparação das miniestacas e aplicação dos tratamentos	63
2.3	Avaliação de plantas	63
3	RESULTADOS	65
4	DISCUSSÃO	68

5 CONCLUSÕES	71
6 REFERÊNCIAS.....	72
6 CAPÍTULO 3 – FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NO ENRAIZAMENTO E CRESCIMENTO DE CLONES DE <i>Paratecoma peroba</i> ²	77
RESUMO	77
ABSTRACT	78
1 INTRODUÇÃO	79
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	81
2.1 Área de estudo	81
2.2. Formação do minijardim	81
2.3 Preparação e estaqueamento das miniestacas	82
2.4 Avaliação de mudas	83
3 RESULTADOS.....	85
4. DISCUSSÃO	90
5. CONCLUSÕES	93
6 REFERÊNCIAS.....	94
7 CAPÍTULO 4 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS E ADUBAÇÃO MINERAL DE NITRATO POTÁSSIO NA PRODUTIVIDADE, ECOFISIOLOGIA E NUTRIÇÃO DE MINICEPAS E ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE <i>Paratecoma peroba</i>	99
RESUMO	99
ABSTRACT	101
1 INTRODUÇÃO	102
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	105
2.1 Área de estudo	105
2.2 Formação das minicepas.....	106
2.3. Efeito do ambiente e do K na produtividade, ecofisiologia e nutrição de minicepas de <i>P. peroba</i>	107
2.4. Efeito do ambiente e do K da minicepa no enraizamento de miniestacas de <i>P. peroba</i>	111
2.5. Análise estatística.....	112
3 RESULTADOS.....	113
3.1. Efeito do ambiente e do K na produtividade, ecofisiologia e nutrição de minicepas de <i>P. peroba</i>	113
3.2. Efeito do ambiente e do K da minicepas no enraizamento de miniestacas de <i>P. peroba</i>	124
4 DISCUSSÃO	131
4.1. Efeito do ambiente e do K na produtividade, ecofisiologia e nutrição de minicepas de <i>P. peroba</i>	131
4.2. Efeito residual do ambiente e do K aplicado nas minicepas sobre o enraizamento de miniestacas de <i>P. peroba</i>	135

5 CONCLUSÕES	137
6 REFERÊNCIAS.....	138
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	146

1 INTRODUÇÃO GERAL

A espécie *Paratecoma peroba* (Record e Mell) Kuhlm (Bignoniaceae) é conhecida popularmente como peroba amarela, peroba do campo, ipê-peroba. Essa espécie é nativa do bioma Floresta Atlântica e ocorre naturalmente em uma restrita área do litoral no leste do Brasil, que vai do sul do estado da Bahia até o norte do Rio de Janeiro (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010). Descrita como secundária tardia (ARCHANJO et al., 2012) e de grande porte, as árvores adultas podem atingir até 40 metros de altura com diâmetro variando de 40 a 80 cm (LORENZI, 2009).

A *P. peroba* foi no passado alvo de intensa exploração extrativista devido às qualidades tecnológicas e a beleza natural da sua madeira, sendo empregada em revestimentos e em mobiliário de luxo (LINS; NASCIMENTO, 2010). Apesar de protegida por algumas unidades de conservação, a fragmentação do seu habitat natural somado à falta de programas de reflorestamento levou ao declínio das populações da espécie. Atualmente, encontra-se em perigo crítico de extinção (CNCFLORA, 2012). Além da dificuldade de encontrar matrizes, a *P. peroba* apresenta periodicidade de floração e frutificação supra anual (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010). As sementes são recalcitrantes e o crescimento das mudas é lento em fase de viveiro, levando até oito meses (LORENZI, 2009).

A conservação da *P. peroba* por meio da propagação vegetativa ainda não foi considerada. A propagação vegetativa, propagação assexuada ou clonagem vem ao encontro da superação das dificuldades da propagação por sementes, possibilitando assim auxiliar no resgate e conservação de recursos genéticos florestais (DIAS et al., 2012), bem como base para silvicultura clonal para possíveis fins de proteção e comercial da espécie. Entre os métodos de propagação vegetativa tem-se a miniestaquia, técnica amplamente utilizada na propagação clonal de genótipos de *Eucalyptus* no Brasil (ALFENAS et al., 2009). Os estudos com miniestaquia de espécies lenhosas nativas têm crescido bastante nos últimos anos (XAVIER et al., 2013), e tem sido usada com sucesso na propagação de espécies como: *Anadenanthera macrocarpa* (DIAS et al., 2015); *Handroanthus heptaphyllus* (OLIVEIRA et al., 2016); *Tibouchina sellowiana* (FRAGOSO et al., 2017); *Peltophorum dubium* (MANTOVANI et al., 2017); *Cabralea canjerana* (BURIN et al., 2018), *Inga edulis* (BERUDE et al., 2020).

Apesar dos notórios avanços obtidos na silvicultura clonal brasileira, é necessário estabelecer condições ótimas para cada espécie cultivada, principalmente espécies, nativas. Os resultados do enraizamento de miniestacas pode sofrer uma ampla variação, sendo dependente de vários fatores como: potencialidade genética da espécie, balanço hormonal, teor de carboidratos, tipo de miniestaca, manutenção das folhas, substratos, aplicação de reguladores de crescimento, entre outros. Além disso, o enraizamento pode ser influenciado pela idade, condições fisiológicas e nutricionais da minicepa ou planta matriz doadora de propágulos, e de condições ambientais, no que se refere à luminosidade temperatura e umidade (ALFENAS et al., 2009; HARTMANN et al., 2011; DENAXA et al., 2012; XAVIER et al., 2013).

Portanto, a miniestaquia pode ser um método mais fácil, rápido e barato de propagação da *P. peroba*, e permitir ainda, a obtenção de um grande número de mudas para o suprimento da demanda na restauração florestal, uso em sistemas agroflorestal e pomares comerciais. A tese foi estruturada em quatro capítulos. No capítulo 1, estabeleceu-se um protocolo de propagação vegetativa via miniestaquia para *P. peroba*. Para isso analisou-se a influência do substrato, do ácido indol-3-butírico (AIB), o tipo de miniestaca e da área foliar no enraizamento de miniestacas. No capítulo 2, objetivou-se analisar o efeito de substratos formulados à base de diferentes proporções de esterco bovino em diferentes volumes de tubetes no enraizamento e crescimento de mudas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia. No capítulo 3, objetivou-se com este estudo analisar o efeito de diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) no enraizamento, crescimento, metabolismo fotossintético e balanço nutricional de mudas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia. No capítulo 4, objetivou-se analisar a influência do ambiente e da adubação mineral do potássio (K) na produtividade, ecofisiologia e nutrição de plantas matrizes e o efeito no enraizamento miniestacas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Paratecoma peroba* (Record e Mell) Kuhlm

Paratecoma peroba (Record e Mell) Kuhlm popularmente conhecida como peroba amarela, peroba do campo, ipê-peroba, peroba manchada, é uma espécie arbórea de grande porte pertencente à família Bignoniaceae. Esta espécie é nativa do bioma Floresta Atlântica ocorrendo naturalmente em uma restrita área do litoral no leste do Brasil, que vai do sul do estado da Bahia até o norte do Rio de Janeiro (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010). Descrita como secundária inicial (LORENZI, 2009) ou tardia (ARCHANJO et al., 2012), tem como características principais: altura de 20 a 40 m, diâmetro variando de 40 a 80 cm quando adulta; folhas compostas digitadas com cinco folíolos e dispersão por sementes do tipo anemocórica (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010).

Possui floração de outubro a novembro e o amadurecimento do fruto, do tipo de cápsula, pode ser observado de fevereiro a julho, com dispersão das sementes em agosto no norte do estado do Rio de Janeiro (LINS e NASCIMENTO, 2010). Sua madeira possui densidade em torno de 0,70 g cm³, é moderadamente pesada, e apresenta boa resistência. Por apresentar essas características foi muito explorada comercialmente para mobiliário de luxo, revestimentos decorativos e para construção naval em geral (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010). Recentemente, sua madeira também tem sido usada em substituição a barris ou tonéis de carvalho para o envelhecimento de cachaça (SANTIAGO et al., 2016). Devido ao seu potencial madeireiro associado à devastação do seu ambiente natural e falta de programas de reflorestamento, a *P. peroba* foi incluída no Livro Vermelho como espécie em perigo crítico de extinção, elaborado pelo Centro Nacional de Conservação da Flora. Estima-se que haja em torno de 8.500 indivíduos adultos na natureza, sendo praticamente extinta no Estado do Rio de Janeiro (CNCFLORA, 2012).

Para atenuar os impactos ambientais da exploração predatória, uma possibilidade seria o cultivo comercial da *P. peroba*, por conseguinte, ser uma alternativa para o atendimento da demanda de madeira tropical nobre no mercado nacional e internacional. Entretanto, para a domesticação da espécie e seu posterior cultivo, é fundamental entender seu processo de propagação.

A *P. peroba* pode ser propagada a partir de sementes com taxa superior a 40% (LORENZI, 2009), porém alguns fatores dificultam a sua propagação, como: a dificuldade

de encontrar matrizes, o longo período até a planta atingir fase adulta, e a periodicidade de floração e frutificação supra anual, ocorrendo anos onde a produção de sementes é intensa, seguido por anos de escassez (LINS; NASCIMENTO, 2010).

Além disso, as sementes são recalcitrantes e o tempo de crescimento das mudas em viveiro é lento, levando até 8 meses (LORENZI, 2009). Segundo Dias (2011), o uso dos tubetes biodegradáveis e de polietileno em mudas de *P. peroba*, produz mudas de bom padrão de qualidade e, conseqüentemente bom crescimento e sobrevivência pós-plantio e por isso, podem ser considerados viável técnica e economicamente.

2.2 Propagação vegetativa de espécies florestais por miniestaquia

A propagação vegetativa é um importante meio de conservação de germoplasmas de espécies nativas e ameaçados (DIAS et al., 2012; AZAD et al., 2018), e o primeiro estágio a ser superado na domesticação de espécies com potencial econômico (GUIMARÃES et al., 2019). Ressalta-se que qualquer técnica de propagação vegetativa multiplica o genoma completo da planta, formando clones da mesma (WENDLING et al., 2005). Dessa forma, para que a produção de clones de espécies nativas seja tecnicamente viável e ambientalmente responsável para projetos de restauração florestal, recomposição de matas ciliares, ambientes degradados, entre outros, torna-se imprescindível abranger a maior variabilidade genética possível, coletando-se brotações de diversas plantas.

Wendling et al. (2005) recomendam um número acima de 25 plantas, levando-se em consideração uma distância mínima entre árvores ao invés de coletar o máximo de brotações de uma única árvore. No caso da coleta de brotações de mudas produzidas via sementes, segundo os mesmos autores, vale a mesma ressalva, ou seja, coletar as sementes de um maior número de árvores matrizes possível, de forma que esses propágulos sejam representativos da população.

As técnicas de propagação vegetativa permitem ainda capturar ganhos da heterose de genótipo superiores (JANNAT et al., 2017), e a produção massal de mudas em pouco tempo (BAUL et al., 2010). Esses fatores proporcionam inúmeros benefícios ao setor florestal, principalmente pela formação de plantios clonais mais homogêneos e produtivos.

A miniestaquia é a principal técnica de propagação de mudas de espécies de *Eucalyptus* no Brasil, e um dos fatores, ao lado do melhoramento genético e a hibridação, que contribuíram para a ascensão da produtividade das florestas do gênero no país (BATISTA et al., 2014; BRONDANI et al., 2014; AZEVEDO et al., 2015; ROCHA et al., 2015;

FERNANDES et al., 2018). A miniestaquia tem sido usada com sucesso na propagação de espécies florestais nativas como exemplo, a *Cedrela fissilis* (XAVIER et al., 2003); *Anadenanthera macrocarpa* (DIAS et al., 2015); *Handroanthus heptaphyllus* (OLIVEIRA et al., 2016); *Tibouchina sellowiana* (FRAGOSO et al., 2017); *Peltophorum dubium* (MANTOVANI et al., 2017); *Cabralea canjerana* (BURIN et al., 2018).

A técnica de miniestaquia consiste na utilização de brotações de plantas propagadas pelo método da estaquia convencional ou até mesmo pelo método de miniestaquia ou de mudas de origem seminal (ALFENAS et al. 2009; XAVIER et al. 2009). Este processo é estabelecido em uma área no viveiro denominada minijardim clonal que é formada por um conjunto de plantas matrizes / minicepas, que são mudas podadas em torno de 10 cm de altura, no qual são coletadas brotações em intervalos regulares. Segundo Wendling e Souza Júnior (2003), após a primeira poda com quebra da dominância apical ocorre um período de adaptação das minicepas e posterior reorganização do sistema de crescimento na posição vertical (ortotrópico) para um sistema de crescimento na forma similar a uma ramificação lateral (plagiotrópico). Assim após a primeira coleta, as gemas dormentes tornaram-se ativas, resultando em maior estímulo ao crescimento, podendo esse tempo ser variável em função da espécie e das condições climáticas

Em relação ao método de estaquia convencional, a miniestaquia apresenta as vantagens de dispensa do jardim clonal de campo, maior produção de propágulos (miniestacas) por unidade de área, melhor qualidade do sistema radicular, necessidade de menores concentrações de reguladores de crescimento e redução do tempo de formação da muda (WENDLING; DUTRA, 2008). Além disso, há redução dos custos com transporte e coleta das brotações e maior eficiência das atividades de manejo no jardim miniclinal, como irrigação, nutrição, manutenções e controle de pragas e doenças (XAVIER et al., 2003).

Nos viveiros de mudas clonais de espécies de *Eucalyptus*, é comum a utilização de miniestacas com tamanho entre 4 e 8 cm, com pelo menos dois pares de folhas (ALFENAS et al., 2009). O número de miniestacas obtidas varia em função da espécie/clone, sistema de manejo do minijardim, condições ambientais e vigor fisiológico das minicepas.

A formação de novas raízes a partir dos tecidos do câmbio na base das miniestacas, denominada enraizamento adventício, é essencial para realizar a propagação clonal. Variáveis como a porcentagem de enraizamento, número de raízes, comprimento e massa seca das raízes podem ser influenciadas por uma série de fatores e suas interações, dentre eles tem-se: potencialidade genética da espécie, injúrias, balanço hormonal,

tipo/posição das estacas, presença de gemas e/ou folhas, os substratos, época do ano, o armazenamento e sanidade das estacas, aplicação de reguladores de crescimento, substratos, condições fisiológicas e nutricionais da planta matriz doadora de propágulos ou planta-matriz. Além disso, o enraizamento pode ser influenciado pelo grau de juvenilidade do material e de condições ambientais, referentes à luminosidade, temperatura e umidade do ar (FACHINELLO et al., 2005; ALFENAS et al., 2009; HARTMANN et al., 2011; XAVIER et al., 2013).

Alfenas et al. (2004) e Fachinello et al. (2005) relataram que as brotações emitidas após a poda possuem características morfológicas e fisiológicas juvenis fundamentais para a recuperação da competência de enraizamento. Entre essas características estão, baixo grau de lignificação e elevada atividade do câmbio, apresentando uma consistência mais herbácea, resultante da fase mais ativa de crescimento dos ramos, garantindo desse modo a manifestação do potencial genético do material selecionado.

O uso de reguladores de crescimento, pode aumentar o enraizamento de propágulos vegetativos, em porcentagem, velocidade, qualidade e uniformidade do enraizamento, por meio da ativação de células do câmbio vascular e do estímulo à iniciação da divisão celular para a formação de raízes adventícias (HARTMANN et al., 2011). O ácido indol-3-acético (AIB) o mais utilizado para iniciação radicular (BRONDANI et al., 2008).

Entretanto, atualmente os reguladores de crescimento de enraizamento são pouco utilizados em produção de mudas de *Eucalyptus* por miniestaquia em escala comercial (ASSIS; MAFIA, 2007; BATISTA et al., 2014). Também se têm observado nos estudos de propagação vegetativa via miniestaquia de espécies nativas, uma tendência de não favorecimento do enraizamento de miniestacas com o uso do AIB, e em alguns casos podendo ser prejudicial na indução dos primórdios radiculares. Essa tendência foi corroborada para as espécies: Pinhão-manso (PIMENTA et al., 2014); manacá (FRAGOSO et al., 2017), erva-mate (STUEPP et al., 2017), canafístula (MANTOVANI et al., 2017).

Outro fator que afeta o enraizamento é o tipo da estaca utilizada, visto a existência de uma variação fisiológica ao longo do ramo, uma vez que miniestacas provenientes de diferentes porções do mesmo ramo tendem a diferir quanto ao enraizamento (FACHINELLO et al., 2005). Miniestacas apicais conferem vantagens se comparadas às intermediárias, em razão de apresentarem menor grau de lignificação de seus tecidos, células meristemáticas com metabolismo mais ativo e ausência ou menor quantidade de compostos fenólicos, conferindo melhor enraizamento e brotamento (HARTMAN et al., 2011).

Porém, baixos índices de sobrevivência e enraizamento podem ocorrer devido à maior predisposição destas miniestacas apicais tenras em perderem umidade. Além disso, Nicoloso et al. (1999) afirmam que tais miniestacas também possuem limitada reserva de nutrientes orgânicos e inorgânicos em seus tecidos, sendo uma causa do baixo índice de sobrevivência. Outro fator que influencia na capacidade de enraizamento das miniestacas é o seu teor de carboidratos e de substâncias promotoras e inibidoras de enraizamento nos tecidos. Estes apresentam variação ao longo do ramo, sendo um dos motivos pelos quais as estacas coletadas de diferentes porções do ramo tendem a diferir quanto ao potencial de enraizamento.

Assim, estacas e miniestacas com altos teores de carboidratos geralmente apresentam melhores porcentagens de enraizamento (FACHINELLO et al., 2005; HARTMANN et al., 2011). Todavia, tratando-se de espécies nativas pouco conhecida da silvicultura brasileira, é importante avaliar se essa hipótese é corroborada para cada espécie.

O conteúdo de carboidratos presente na porção da brotação que formará a miniestaca, tem sido considerado um fator preponderante no sucesso do enraizamento, atuando como fonte de carbono e de energia para a biossíntese de ácidos nucléicos, proteínas e outras substâncias essenciais à formação de raízes. Os carboidratos insolúveis, como o amido, são as fontes de carboidratos para a indução da formação radicial (WIESMAN; LAVEE, 1995). O amido é um polissacarídeo, formado por unidades de glicose (monossacarídeo). É sintetizado e armazenado nos cloroplastos ou nas amiloplastos das células vegetais, que estão presentes nas sementes, raízes, caules e folhas.

No estudo de Silva et al. (2010), com a espécie arbórea *Calophyllum brasiliense*, verificou-se que o uso de miniestacas apicais e intermediárias não influenciou no enraizamento dos propágulos. Ferreira et al. (2012) observaram que miniestacas apicais, intermediárias e basais mostraram-se aptas à propagação via miniestaquia de *Toona ciliata*, apresentando enraizamento superior a 90% para os três tipos de propágulos avaliados. Isso implica maior aproveitamento das brotações colhidas e otimização da produtividade.

A presença das folhas é essencial para o enraizamento das miniestacas, pois as folhas jovens e gemas são locais de síntese de auxina e cofatores de enraizamento, fatores chave para a estimulação do início da formação de raízes. Além disso, os produtos da fotoassimilação proporcionam acúmulo de carboidratos, os quais favorecem a sobrevivência das miniestacas e o crescimento de raízes (HARTMANN; KESTER, 1975; DIAS et al., 2011; SANTOS et al., 2016). A sintetização de auxinas, carboidratos e cofatores

do enraizamento presentes nas gemas e folhas estimulam a atividade cambial, diferenciação do xilema e iniciação das raízes (HARTMANN et al. 2011).

Ainda considerando o enraizamento de miniestacas, a perda de água é uma das principais causas de perdas nos índices de enraizamento e conseqüentemente morte das mesmas. Para ocorrer a divisão celular, é necessário que as células do tecido estejam túrgidas. Somado a isto, para evitar o efeito “guarda-chuva”, que pode reduzir a eficiência da irrigação, causar o excesso de transpiração e o encurvamento das miniestacas, Alfenas et al. (2009) recomendaram reduzir em um terço a lâmina foliar da miniestaca em espécies de eucalipto, e Xavier et al. (2013) citam que redução em 50% a área foliar é a proporção mais comum na produção clonal de mudas de eucalipto no Brasil.

Alfenas et al. (2009) afirmam a existência de uma relação positiva entre área foliar de miniestacas com o potencial de enraizamento destas, e reiteram que folhas apicais e subapicais podem funcionar como drenos uma vez que, estas não estão totalmente formadas e prontas para o processo fotossintético. Ao contrário, folhas de ramos basais atuam como fonte, pois são fotossinteticamente mais ativas.

Segundo Alexandre et al. (2016), a capacidade de uma espécie enraizar sem folhas nas estacas é uma característica muito importante. Isso impede a perda de água por transpiração, o que compromete a sobrevivência da miniestaca com a vantagem de não necessitar de um sistema de irrigação, por nebulização intermitente, o que aumenta os custos do processo.

Contudo, Hartmann et al. (2011), diferentes materiais genéticos podem ter diferentes respostas ao enraizamento em função da presença de folhas inteiras ou parte delas. Correia et al. (2015), avaliando o efeito da redução foliar no enraizamento de dois tipos de estacas (apicais e intermediárias), de quatro clones de híbridos de *Eucalyptus globulus*, concluíram que aos 90 dias as estacas apicais sem e com redução foliar foram superiores às intermediárias, recomendando a propagação vegetativa por miniestacas apicais sem redução foliar.

O estado nutricional da planta matriz (cepa/minicepa) também se mostra de grande importância na propagação vegetativa por estaquia/miniestaquia. Esse fator não afeta somente o vigor vegetativo e a produção de brotações, mas também pela concentração dos elementos minerais que apresenta nas estacas/miniestacas, com efeito nos índices de enraizamento e na velocidade de formação das raízes.

O estado nutricional das minicepas em um minijardim é um fator que influencia diretamente na produtividade, no enraizamento das estacas e na qualidade das mudas,

uma vez que os macro e micronutrientes estão envolvidos nos processos bioquímicos e fisiológicos vitais da planta. Cunha et al. (2009a) objetivando avaliar o grau de associação entre o estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus*, verificaram que a nutrição mineral desempenha papel importante no enraizamento adventício das miniestacas, gerando respostas diferenciadas de acordo com o nutriente considerado. Para o nitrogênio (N), alguns clones tiveram elevação na taxa de enraizamento com o aumento na concentração desse elemento, enquanto outros foram inibidos. O mesmo ocorreu com outros elementos nutricionais como: P, K e Ca, apresentando correlações positivas, negativas e não significativas, respectivamente. Os resultados indicaram que a adubação com solução nutritiva aplicada nas plantas matrizes deve ser específica para cada clone.

Rocha et al. (2015), estudando o efeito de doses de N na produtividade, capacidade e velocidade de enraizamento de miniestacas de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, constataram efeito significativo positivo das doses de nitrogênio aplicada no minijardim clonal sobre as variáveis estudadas.

Freitas et al. (2017) avaliaram a produtividade de minicepas e o enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus* em resposta a concentrações de N em fertirrigação de minijardim clonal, e houve efeito significativo das concentrações de N para produtividade mensal das minicepas dos clones. Entretanto, não foi observado efeito das concentrações na percentagem de miniestacas com raízes visíveis na extremidade inferior do tubete, enraizamento e sobrevivência das miniestacas aos trinta dias em casa de vegetação.

Cunha et al. (2009b) enfatizam que embora o enraizamento e a nutrição mineral estejam intimamente relacionados, o assunto é complexo com poucos estudos realizados visando à caracterização dos efeitos de nutrientes específicos envolvido nas fases da rizogênese. Xavier et al. (2013) relatam a necessidade de estudos que avaliem a influência de vários elementos minerais isoladamente ou em conjunto em relação ao seu comportamento no tocante à capacidade e vigor de enraizamento em estacas/miniestacas de diferentes espécies florestais.

3 REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, R. S.; COSTA, P. R.; CHAGAS, K.; MAYRINCK, L. G.; GILES, J. A. D.; SCHMILDT, E. R. Different propagules and auxin concentration on rooting of passionflower sandbank. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 691-697, 2016.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, A. A. V.; MAFIA, R. G.; FRANCISCO DE A. T. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 500p.

ARCHANJO, K. M. P. DE A.; SILVA, G. F. DA; CHICHORRO, J. F.; SOARES, C. P. B. Estrutura do componente arbóreo da reserva particular do patrimônio natural cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 145-160, 2012.

ASSIS, T. F. de; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p. 93-121.

AZEVEDO, G. T. D. O. S.; DE SOUZA, A. M.; DE AZEVEDO, G. B.; DE CERQUEIRA, P. H. A. Enraizamento de miniestacas de eucalipto com diferentes doses de polímero hidroretentor incorporado ao substrato. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 773-780, 2015.

BATISTA, A. F.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. D.; QUEVEDO, F. F.; ASSIS, T. F. Influência da arquitetura foliar de miniestacas na propagação clonal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 819-827, 2014.

BATISTA, A.F.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.D.; QUEVEDO, F.F.; ASSIS, T.F. Influência da arquitetura foliar de miniestacas na propagação clonal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 819-827, 2014.

BAUL, T. K.; MEZBAHUDDIN, M.; HOSSAIN, M. M.; MOHIUDDIN, M. Vegetative propagation of *Holarrhena pubescens*, a wild tropical medicinal plant: effect of indole-3-butyric acid (IBA) on stem cuttings. **Forestry Studies in China**, v. 12, n. 4, p. 228-235, 2010.

BERUDE, M. C.; ARAÚJO, E. F.; SANT'ANA, B. T.; ALEXANDRE, R. S.; GONÇALVES, E. O. Rooting of *Inga edulis* Mart. (Leguminosae-Mimosoideae) mini-cuttings. **Floresta**, v. 50, n. 1, p. 1091-1098, 2019.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; DE ARAUJO, M. A.; PIRES, P. P. Ácido indolbutírico em gel para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 2, p. 153-158, 2008.

BRONDANI, G. E.; BACCARIN, F. J. B.; BERGONCI, T.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, AIB, zinco, boro e coletas de brotações. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2014.

BURIN, C.; BISOGNIN, D. A.; LENCINA, K. H.; GIMENES, E. S. Early selection of *Cabralea canjerana* for propagation by mini-cutting. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1018-1024, 2018.

CNCFlora. *Paratecoma peroba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma peroba](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma%20peroba). Acessado em: 17 Jan. 2020.

CORREIA, A. C. G.; XAVIER, A.; DIAS, P. C.; TITON, M.; SANTANA, R. C. Redução foliar em miniestacas e microestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 295-304, 2015.

CUNHA, A. C. M. C. M.; DE BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 591-599, 2009a.

CUNHA, A. C. M. C. M.; DE PAIVA, H. N.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 58, p. 35-47, 2009b.

DENAXA, N. K.; VEMMOS, S. N.; ROUSSOS, P. A. The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 143, p. 19-28, 2012.

DIAS, B. A. S. **Análise comparativa de tubetes biodegradáveis e de polietileno na produção de mudas de *Paratecoma peroba* (Record & Mell) Kuhl.** 2011 - 72f. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DIAS, J. P. T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. IBA e carboidratos no enraizamento de brotações procedentes de estacas radiciais de *Rubus* spp. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. SPE1, p. 666-671, 2011.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; CORREIA, A. C. G.; BARBOSA, G. A. Tipo de miniestaca e de substrato na propagação vegetativa de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 909-919, 2015.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; PAIVA, H. N.; CORREIA, A. C. G. Propagação vegetativa de progênies de meios-irmãos de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 389-399, 2012.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. **Propagação de plantas frutíferas.** Embrapa Informações Tecnológicas, Brasília, DF. 221pp, 2005.

FERNANDES, S. J. O.; SANTANA, R. C.; SILVA, E. B.; SOUZA, C. M. P.; SILVA, C. T. Período de enraizamento de miniestacas de eucalipto provenientes de diferentes lâminas de irrigação em minijardim. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 591-600, 2018.

FERREIRA, D. A.; BARROSO, D. G.; DA SILVA, M. P. S.; DE SOUZA, J. S.; DE FREITAS, T. A. S.; DE ARAÚJO CARNEIRO, J. G. Influência da posição das miniestacas na qualidade de mudas de cedro australiano e no seu desempenho inicial e no pós-plantio. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 715 - 723, 2012.

FRAGOSO, R. O.; STUEPP, C. A.; SÁ, F. P.; KRATZ, D.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WENDLING, I. Vegetative rescue and ex vitro system production of *Tibouchina sellowiana* clonal plants by cutting and mini-cutting. **Ciência Rural**, v. 47, n. 11, p.1-9, 2017.

FREITAS, T. P.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 313-320, 2016.

GUIMARÃES, R. N.; SOUZA, E. R. B.; NAVES, R. V.; MELO, A. P. C.; RUBIO NETO, A. Vegetative propagation of pequi (souari nut) by cutting. **Ciência Rural**, v. 49, n. 2, p. 1-6, 2019.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E. **Plant propagation**. New Jersey: Prentice-Hall, 1975. 662p.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T. J.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2011. 915p.

JANNAT, M.; HOSSAIN, M. K.; ALAM, M. S.; HOSSAIN, M. A.; KAMRUZZAMAN, M. Vegetative propagation of Tali (*Palaquium polyanthum* Engl.) for commercial harvest and landscape conservation. **Rhizosphere**, v. 3, n. 1, p. 9-12, 2017.

LINS, B. L. A.; NASCIMENTO, M. T. Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma floresta estacional semidecidual do norte fluminense, Brasil. **Rodriguésia**, v. 61, n. 3, p. 559-568, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3th ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009, 384p.

MANTOVANI, N.; ROVEDA, M.; TRES, L.; FORTES, F. D. O.; GRANDO, M. F. Cultivo de canafístula (*Peltophorum dubium*) em minijardim clonal e propagação por miniestacas. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 225-236, 2017.

NICOLOSO, F. T.; FORTUNATO, R. P.; FOGAÇA, M. D. F. Influência da posição da estaca no ramo sobre o enraizamento de *Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen em dois substratos. **Ciência Rural**, v. 29, n. 2, p. 277-283, 1999.

PIMENTA, A. C.; TAGLIANI, M. C.; RIBAS, K. C. Z.; LAVIOLA, B. G.; KOEHLER, H. S. Miniestaquia e anatomia caulinar de pinhão-manso em quatro épocas de coleta. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 478-485, 2014.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C. B.; BORELLI, K.; PRIETO, M. R.; SANTOS, A. J. M.; GODINHO, T. D. O. Produtividade do minijardim e qualidade de miniestacas de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (I-224) em função de doses de nitrogênio. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 273-279, 2015.

SANTIAGO, W. D.; CARDOSO, M. D. G.; DE ANDRADE SANTIAGO, J.; TEIXEIRA, M. L.; BARBOSA, R. B.; ZACARONI, L. M.; SALES, P. F.; NELSON, D. L. Physicochemical profile and determination of volatile compounds in cachaça stored in new oak (*Quercus* sp.), amburana (*Amburana cearensis*), jatoba (*Hymenaea carbouril*), balsam (*Myroxylon peruiferum*) and peroba (*Paratecoma peroba*) casks by SPME-GC-MS. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 122, n. 4, p. 624-634, 2016.

SANTOS, R. G.; SOUSA, I. M. D.; ALBUQUERQUE, C. C. D.; SILVA, K. M. B. Cutting type and substrate on vegetative propagation of *Lippia gracilis* Schauer. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 83, p. 01-04, 2016.

SILVA, R. L.; OLIVEIRA, M. L.; MARCO ANTÔNIO, M.; XAVIER, A. Propagação clonal de guanandi (*Calophyllum brasiliense*) por miniestaquia. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 99-104, 2010.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Solução nutritiva para condução de minicepas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 5 p.

WENDLING, I.; FERRARI, M.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de corticeirado mato (*Erythrina falcata* Bentham) por miniestaquia a partir de propágulos juvenis**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. p. 130. (Comunicado técnico, 6).

WENDLING, I.; SOUZA JUNIOR, L. Propagação vegetativa de erva mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire) por miniestaquia de material juvenil. In: 3º CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA MATE, 1ª FEIRA DE AGRONEGOCIO DA ERVA MATE, 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó, SC. CDrom.

WIESMAN, Z.; LAVEE, S. Relationship of carbohydrates sources and indole-3-butyric acid in olive cuttings. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 5, p. 811-816, 1995.

XAVIER, A.; SANTOS, G.A.; WENDLING, I.; OLIVEIRA, M.L. Enraizamento de miniestaca caulinar e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 351-356, 2003.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2ª ed. Viçosa, UFV, 2013, 280p.

4 CAPÍTULO 1 – MINI-CUTTING TECHNIQUE FOR VEGETATIVE PROPAGATION OF *Paratecoma peroba*¹

ABSTRACT

Paratecoma peroba is a native Brazilian forest species of great economic and ecological interest, which is currently at risk of extinction owing to excessive wood exploration. The use of the mini-cutting technique could facilitate the vegetatively propagation of this species. The objective of the present study was to establish a vegetative propagation protocol for *P. peroba* using the mini-cutting technique. In the first experiment, were tested five concentrations of indolbutiric acid (IBA; 0, 1, 2, 4 and 8 g L⁻¹) and two types of substrates (sand and a commercial substrate based on ground *Pinus* bark, coconut powder, and mineral additives). In the second experiment, were tested three types of mini-cuttings (apical of 6 cm and 10 cm, and intermediary of 4 cm) and two leaf area sizes (total leaf area and reduced to 50% of leaf area). The results showed that *P. peroba* could be vegetatively propagated using the mini-cutting technique with up to 82.5% rooting. There was only 5.6% of mini-cutting rooted in sand. High concentrations of IBA promotes decrease in rooting and number of roots. The 10 cm apical mini-cutting tend to form clones with better quality standards. The maintenance of the leaf area promotes the attainment of roots with greater root surface area, volume and dry mass of *P. peroba* plants.

Keywords: Adventitious rooting, indole-3-butyric acid, clonal forestry, mini-cutting type, foliar architecture.

¹ Publicado na **Cerne**, v. 25, n. 3, p. 314-325, 2019

RESUMO

Paratecoma peroba é uma espécie florestal nativa do Brasil de grande interesse econômico e ecológico, atualmente em risco de extinção devido à exploração excessiva de sua madeira. O uso da técnica da miniestaquia poderia facilitar a propagação vegetativa dessa espécie. O objetivo do presente estudo foi estabelecer um protocolo de propagação vegetativa para *P. peroba* utilizando a técnica de miniestaquia. No primeiro experimento, foram testadas cinco concentrações de ácido indolbutírico (AIB; 0, 1, 2, 4 e 8 g L⁻¹) e dois tipos de substratos (areia e substrato comercial à base de casca de Pinus moída, pó de coco e aditivos minerais). No segundo experimento, foram testados três tipos de miniestacas (apical de 6 cm e 10 cm e intermediário de 4 cm) e dois tamanhos de área foliar (área foliar total e reduzida para 50% da área foliar). Os resultados mostraram que *P. peroba* pode ser propagado vegetativamente por meio da técnica de miniestaquia com até 82,5% de enraizamento. Houve apenas 5,6% de miniestacas enraizado na areia. Altas concentrações de AIB promovem diminuição no enraizamento e no número de raízes. As miniestacas apicais de 10 cm tendem a formar clones com melhor padrão de qualidade. A manutenção da área foliar promove a obtenção de raízes com maior área superficial, volume e massa seca das plantas de *P. peroba*.

Palavras-chaves: Enraizamento adventício, ácido indol-3-butírico, silvicultura clonal, tipo de miniestaca, arquitetura foliar.

1 INTRODUCTION

The evolution of Brazilian environmental legislation together with initiatives such as an international commitment to reforest 12 million hectares until 2030 as promised in the Paris Agreement in 2015 has increased the scientific interest in the production of seeds and seedlings of arboreal Brazilian flora species (BRASIL, 2018). Peroba amarela, peroba do campo, and ipê-peroba are popular names for *Paratecoma peroba* (Record and Mell) Kuhlm (Bignoniaceae), which is a native species from Atlantic Forest biome that occurs naturally in a restricted coastal area in eastern Brazil, from the southern state of Bahia to the north of Rio de Janeiro (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010). Described as being a late secondary species (ARCHANJO et al., 2012) and having a large size, adult trees can reach up to 40 m in height with diameters varying from 40 to 80 cm (LORENZI, 2009).

In the past, this species was the target of intense extractivist exploitation owing to the technological qualities and natural beauty of its wood, and has been used to build coatings and luxury furniture (LINS and NASCIMENTO, 2010). Although protected by several conservation factions, the fragmentation of the natural habitat of this species in addition to a lack of reforestation programs has placed *P. peroba* at the risk of extinction. It is estimated that there are just over 8500 adult individuals of this species left in nature (CNCFlora, 2012).

Besides the difficulty of locating plus tree, *P. peroba* undergoes supra-annual flowering, with some with high seed production, followed by years of scarcity (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010). The seeds are recalcitrant and seedling growth is slow during the nursery phase, which can last up to eight months (LORENZI, 2009). For these reasons, the search for alternative methods of propagation of this species is justified and important, such as the mini-cutting technique.

The mini-cutting is the main technique for propagating clones of *Eucalyptus* species in Brazil and is one of the factors, together with genetic improvement and hybridisation, which has contributed to an increase in the productivity of forests of this genus throughout the country (BATISTA et al., 2014; BRONDANI et al., 2014; ROCHA et al., 2015). The mini-cutting technique has been successfully used for the propagation of native forest species, e.g. *Cedrela fissilis* Vell (XAVIER et al., 2003), *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (DIAS et al., 2015), *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos (FREITAS et al., 2016), *Plathymeria foliolosa* Benth. (PESSANHA et al., 2018), *Tibouchina selowiana* (Cham.) Cogn (FRAGOSO et al., 2017), *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub (MANTOVANI et al., 2017), and *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart (BURIN et al., 2018).

The formation of new roots from the tissues at the base of the mini-cuttings, called adventitious rooting, is essential for carrying out the clonal propagation. Variables such as the percentage of rooting, number of roots, and length and dry mass of roots can be influenced by a number of factors and their interactions, e.g. the age of the donor plant, hormonal balance, carbohydrate content, mini-cut type, sheet maintenance, substrates, and the application of growth regulators (HARTMANN et al., 2011; DENAXA et al., 2012; XAVIER et al., 2013). Therefore, the improvement of the mini-cut protocol for *P. peroba* would provide an alternative method of propagation for this species, overcome the difficulties associated with seminal propagation, and increase the availability of seedlings for restoration projects in the Atlantic Forest and commercial plantations of the species.

Therefore, the objective of this study was to establish a protocol of vegetative propagation for *P. peroba* with mini-cutting technique. To achieve this, the following hypotheses were tested: (i) *P. peroba* has the fitness for vegetative propagation by the mini-cutting technique; (ii) substrate influences the rooting of mini-cuttings; (iii) higher concentrations of indolbutiric acid (IBA) cause the induction of adventitious roots; and (iv) there is a relationship between the physical pattern and of *P. peroba* mini-cuttings rooting.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Study area

Experiments were undertaken from July 2018 to January 2019 at the Forest Nursery at Universidade Federal do Espírito Santo (DCFM-CCA-UFES), in Jerônimo Monteiro, Espírito Santo State (ES), at 20° 47' S and 41° 23' W and an altitude of 120 m. The climate of the Jerônimo Monteiro region based on the Köppen classification is the CWA type, i.e. dry winter and rainy summer (EUGENIO et al., 2016).

2.2 Establishment of the mini-clonal hedge

The *P. peroba* mini-clonal hedge, was formed from seedlings propagated by seeds collected from 20 matrix trees established in natural occurrence in Linhares-ES municipality, situated at 19° 23' S and 40° 04' W and at 43 m altitude. Registration of sisgen for access to genetic patrimony, A796E13. The seeds were placed in polypropylene tubes, with a capacity of 280 cm³, containing commercial substrate based on ground *Pinus* bark, coconut powder, and mineral additives. A total of 8.0 kg m⁻³ of controlled release fertiliser (CRF) was added, which formulation was NPK 13-6-16, with a release time of 5 to 6 months. The productivity of the mini-clonal hedge at the time of beginning of the experiment was 4.7 shoots per mini-stump. The nutritional characterisation of the mini-stumps and the physicochemical characterisation of the substrate are presented in Tables 1 and 2 respectively using the methodology described in the study by Silva (2009).

Table 1 – Nutritional characterisation of the mini-stumps of *Paratecoma peroba*.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Mn	Fe	Cu
----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----					
29.40	4.75	34.52	7.60	3.45	1.41	51.42	18.60	53.15	300.67	5.21

Table 2 – Physicochemical characterisation of the substrates.

Commercial substrate										
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	EC	Density		
H ₂ O	----- g kg ⁻¹ -----					mS cm ⁻¹	g cm ⁻³			
6.2	11.5	9.0	5.2	15.0	7.2	4.5	0.8	0.35		

Sand substrate								
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	EC	Density
H ₂ O	----- g kg ⁻¹ -----						mS cm ⁻¹	g cm ⁻³
8.2	-	-	-	-	-	-	0.28	1.48

pH =Hydrogenionic potential; EC = Electrical conductivity.

After 120 days sowing, when the height of the seedlings was approximately 30 cm, seedlings were transplanted in 3.8 L polyethylene pots filled with commercial substrate added with 8.0 kg m⁻³ of CRF. The density of plants was 30 pots per square meter, with an average productivity of 141 shoots m⁻². After transplantation, seedlings were placed in a shad house with 50% shading. Irrigation was performed by microaspiration that was triggered for 10 min, two times a day with an 8 mm m⁻². During the experimental period, mean maximum temperatures of 28.3 °C and minimum of 17.1 °C, with relative humidity of 24.83%, obtained in an automatic station installed in the nursery. At 15 days after transplantation into the vessels, the stems were broken at a height of 10 cm from the base, which aimed to stimulate the occurrence of shoots, according to the procedure described in a study by Xavier et al. (2013). Fifteen days later, when mini-stumps had already produced new shoots, the previously broken part was removed using scissors. Thus, 30 days after transplantation, a mini-clonal hedge was formed with a total of 150 mini-stumps, which produced enough shoots in quantity and size to be used for the following experiments.

2.3 Experiment 1 – Substrates and IBA in the rhizogenesis of *Paratecoma peroba*

Experiment 1 was conducted in a completely randomised design in a 5 × 2 factorial arrangement, corresponding to five concentrations of IBA (0, 1, 2, 4 and 8 g L⁻¹) and two substrates (sand and commercial substrate based on ground *Pinus* bark, coconut powder, and mineral additives) with four replications and 10 mini-cuttings per plot, totalling 400 experimental units.

For the preparation of the liquid solution, 0.1, 0.2, 0.4 and 0.8 g of the regulator was weighed on an analytical balance (0.001g). The solutions were then diluted in 2 mL of 1 M potassium hydroxide and placed in a test tube, where distilled water was added to make 100 mL.

The commercial substrate was the same that was used for the forest clones growth (Table 2), whereas the sand substrate is the main material used in Brazil as sowing or as

beds for seed germination and rooting of cuttings. The sand was sterilised at 127 °C in an autoclave for 60 min. Before the beginning of the experiment, the sand was had the followed chemical and physical attributes: pH in water: 8.2; electrical conductivity: 0.28 mS cm⁻¹; and density: 1.48 g cm⁻³.

The *P. peroba* shoots were collected in the morning, owing to the lower temperature present at this time, using manual pruning shears and were kept in styrofoam boxes with water to maintain the ideal vigour and turgescence conditions. Subsequently, they were taken to the Laboratory for Propagation and Analyzes of Seedling Quality in preparation for the mini-cutting procedure.

The mini-cuttings were cutted with 6 cm, in which the terminal bud and leaves with 100% of the original leaf area were maintained. After the mini-cuttings collected, they were disinfected by immersion for 2 min in 0.5% sodium hypochlorite, with subsequent washing under running water, and were then treated with a non-systemic fungicide (0.2%) as preventive action. Then, approximately 1.0 cm of the mini-cuttings were immersed in the corresponding concentrations of IBA for 5 s and inserted in 55 cm³ tubes that contained the different substrates. Subsequently, the mini-cuttings were placed trays in a greenhouse under intermittent nebulisation, which was commanded by a digital controller, and connected to a temperature sensor and a relative humidity air sensor. The irrigation was triggered when the air temperature inside the greenhouse exceeded 30 °C or when the relative humidity was less than 80%.

After 60 days of stay in the greenhouse, the mini-cuttings were removed from the tubes and the substrate was completely removed by washing under running water for root observation. The following variables were measured: survival percentage, (S, %), rooting percentage (R, %), by counting the number of mini-cuttings rooted based on the number of live mini-cuttings; calli percentage (C, %), by counting the number of mini-cuttings with calli as a function of the number of live mini-cuttings; number of shoots (NS); number of roots, counting only the roots emitted directly from the base (NRB); and length of the root system (RL, cm) using a ruler.

The roots were then placed on a scanner model Epson Perfection 750 Pro at a resolution of 400 pixels. Once the images were scanned, they were submitted to the SAFIRA version 1.1 software program (JORGE and SILVA, 2010) to quantify the superficial area of the roots (SA, cm²) and root volume (RV, mm³). To determine the dry mass of the aerial part (DMA, g) and of the roots (DMR, g) of the mini-cuttings, the plant material was divided into the aerial part and the roots, packaged separately in paper bags, and placed in a forced air

circulation oven at 65 °C for 72 h to reach a constant dry mass. DMA, DMR and total dry mass (TDM, g) were weighed on a precision balance (0.001 g).

2.4 Experiment 2 – Types of mini-cuttings and leaf area in the rhizogenesis of *Paratecoma peroba*

In this experiment, three types of mini-cuttings were evaluated: 1. apical with length of 6 cm (6 AM); 2. intermediary with length of 4 cm (4 IM); and 3. complete apical with length of 10 cm (10 AM, which refers to the apical portion of 6 cm + the intermediary portion of 4 cm) and two leaf area sizes: 1. maintenance of the total leaf area (LA 100%) and 2. reduction of the leaf area to half of its total size (LA 50%). The experiment was conducted in a completely randomised design under a 3 × 2 factorial arrangement, with four replications and 10 mini-cuttings per plot, totalling 240 experimental units.

Before the experiment was undertaken, 30 shoots of each treatment were collected to determine the dry mass of the shoots, the total starch content, and the starch accumulation in the mini-cuttings based on the different treatments. The total starch was determined according the methodology described in the study by Koakuzu et al. (2015). The accumulation was calculated by multiplying the dry mass of the shoots by the starch content (Table 3).

Table 3 – Characterisation of the dry mass of the shoots, starch content, and starch accumulation in shoots of *Paratecoma peroba* (n = 30).

Mini-cuttings pattern	Dry mass of shoots (g)	Starch content (%)	Starch accumulation (mg)
6 AM - LA 100%	0.32	16.90	53.91
6 AM - LA 50%	0.13	14.00	18.20
4 IM - LA 100%	0.36	18.80	68.06
4 IM - LA 50%	0.21	17.10	35.40
10 AM - LA 100%	0.37	15.10	56.78
10 AM - LA 50%	0.32	17.30	56.40

6 AM - apical with length of 6 cm; 4 IM - intermediary with length of 4 cm; 10 AM - complete apical with length of 10 cm; LA 100% - maintenance of the total leaf area; LA 50% - reduction of the leaf area to half its total size.

The mini-cuttings inserted planted in tubes with 55 cm³ capacity, which had been previously disinfected with a 2% sodium hypochlorite solution, and that contained a

commercial substrate based on *Pinus* bark (Table 2), without the application of IBA, based on the results obtained in Experiment 1. The measurements taken after 90 days (end of the experiment) were as follows: S (%), R (%), and C (%). Based on the average data of the productivity of the mini-clonal hedge (141 shoots m⁻²) and the rooting data, the productivity index (PI = yield × rooting in decimal) was determined based on the methodology described by Rocha et al. (2015). NS, NRB, RL (cm), SA (cm²), RV (mm³), DMA (g), DMR (g), and TDM (g) were all determined.

2.5 Statistical analysis

Data were submitted to normality presupposition verification tests (Shapiro Wilk) and homogeneity (Bartlett test). The assumptions were met, and there was no need for data transformation. Then the data from both experiments were subjected to analysis of variance and, when verifying significant differences by the F test 5%. Variables means of substrate (Experiment 1), type of mini-cuttings and leaf area (Experiment 2) were compared by Tukey's test at the 5% and 1% probability levels. The concentrations of IBA (Experiment 1) were subjected to regression analysis to verify the optimum concentration for each variable, by means of the first derivative of the estimers β_0 and β_1 . For the choice of equations, the significance of the betas was considered, the meaning and biological realism of the models (linear and quadratic), and the coefficient of determination (R^2). The analyses were performed using the statistical program R Core Team (2018), version 3.5.0., and package ExpDes.pt.

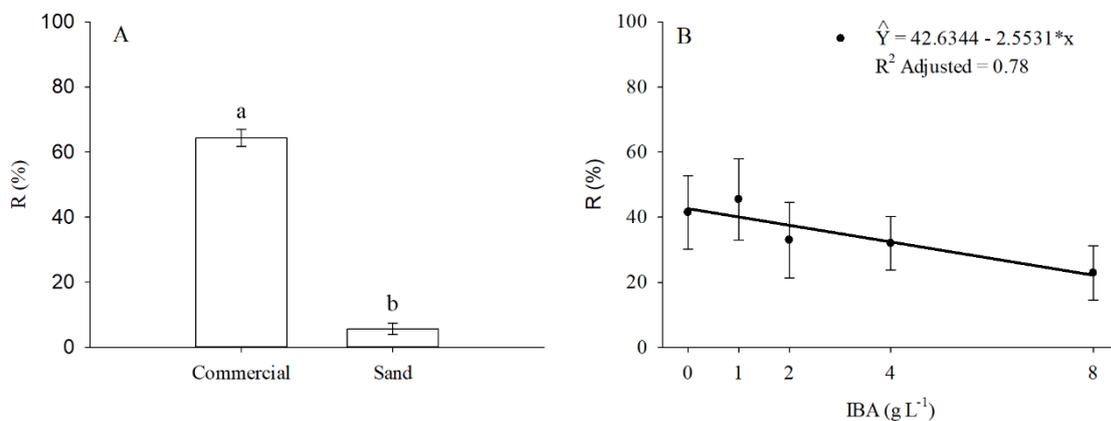
3 RESULTS

3.1 Substrates and IBA in the rhizogenesis of *Peratecoma peroba*

The *P. peroba* mini-cuttings had average of survival (S), calli (C), and number of shoots (NS) higher than 90%, 62%, and 2, respectively, with no influence from the different substrates or IBA concentrations. However, there was an isolated effect ($p \leq 0.01$) of the substrate type and IBA concentrations for rooting (R) in the mini-cuttings.

The R (%) of the *P. peroba* mini-cuttings that were grown in washed sand was less (5%) than that of the commercial substrate based on *Pinus* bark (64%) after 60 days (Figure 1A). The few individuals that were rooted in the washed sand prevented the continuity of the radicial system evaluations. There was a significant difference ($p \leq 0.01$) for IBA concentrations for R (%), showed that an increase in the concentrations on this growth regulator linearly decreased the rooting, with a maximum value of 43% obtained without any IBA application (Figure 1B).

Figure 1 – Rooting (R) of mini-cuttings of *Paratecoma peroba* 60 days after staking as a function of substrate and indole-3-butyric acid (IBA) concentration. Vertical bars stand for standard error.

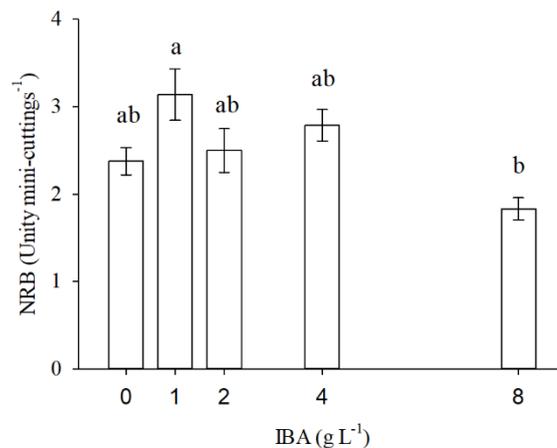


For the mini-cuttings rooted in the commercial substrate, there was a significant effect ($p \leq 0.05$) for different IBA concentrations on number of roots (NRB). However, there was no significance in the regression models using the means test. The highest IBA concentrations were ineffective in promoting an increase in RL and alterations in root morphology as increase in the the superficial area of the roots (SA) and root volume (RV) of the mini-cuttings, with no significant differences. There was no influence of IBA

concentration on dry mass of the roots (DMR), dry mass of the aerial part (DMA), and dry mass of the roots (TDM) in *P. peroba* mini-cuttings.

The IBA concentrations of 0, 1, 2, and 4 g L⁻¹ presented the best results regarding the NRB of the *P. peroba* mini-cuttings; however, there was no significant differences among these different concentrations (Figure 2).

Figure 2 – Number of roots emitted from the base (NRB) of the mini-cuttings of *Paratecoma peroba* 60 days after staking in function of the indole-3-butyric acid (IBA) concentration. Vertical bars stand for standard error.



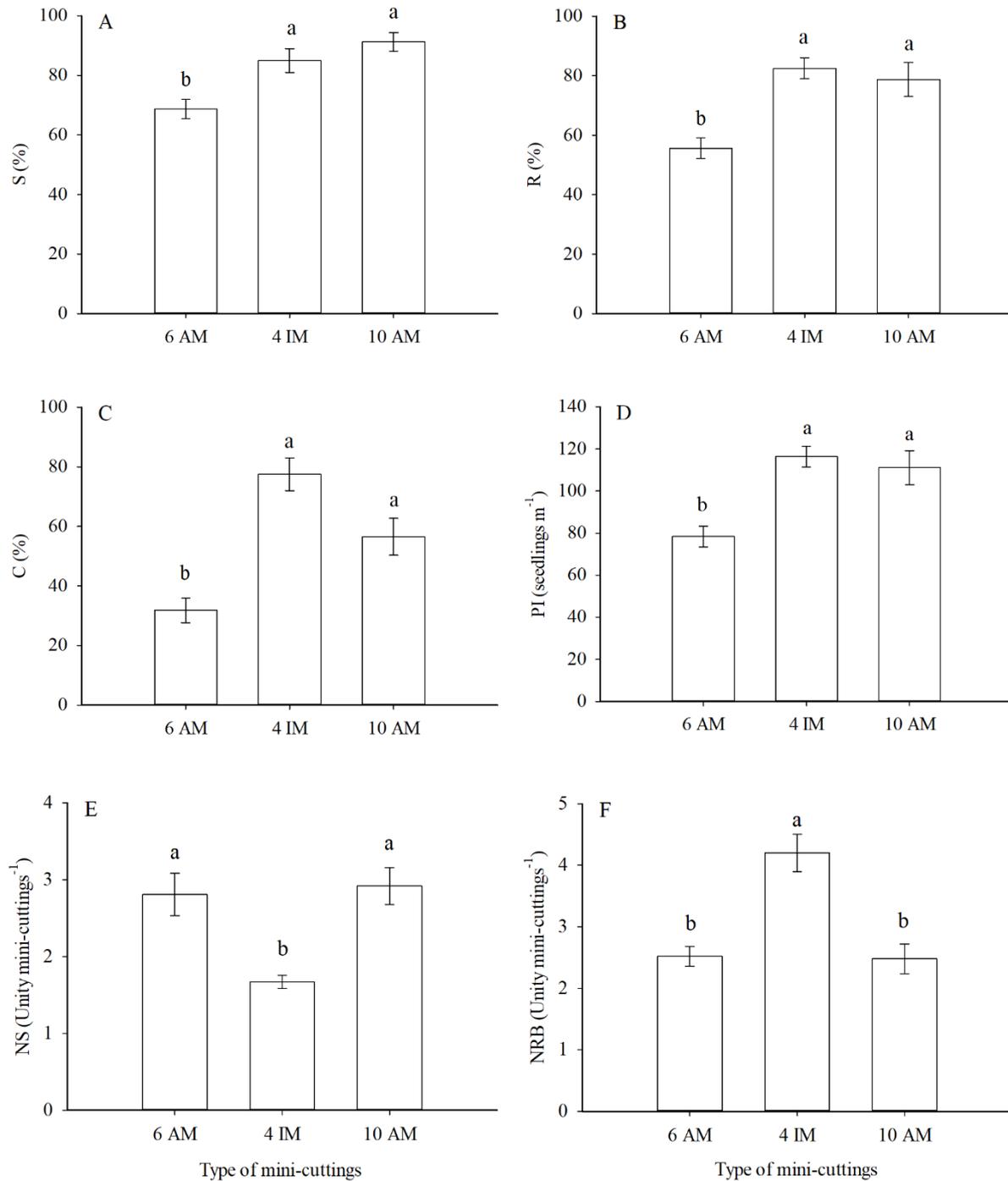
3.2 Type of mini-cuttings and leaves in the rhizogenesis rhizome of *Paratecoma peroba*

After 90 days, there was a significant interaction ($p \leq 0.05$) between the mini-cuttings and leaf area for the MSPA variable. There was an individual effect of the type of mini-cuttings for S (%), C (%), PI, NS, NRB, and TDM. An isolated effect of leaf area was also observed for SA, RV, DMR, and TDM. The RL variable was not influenced by the isolated factors or by any interactions among them.

The 4 IM and 10 AM mini-cuttings presented higher averages of S (%), R (%), and C (%) than 6 AM mini-cuttings after 90 days (Figure 3A, B, C). Considering the productivity of the mini-clonal hedge and R (%) for each type of mini-cutting, the PI of the rooted clones presented higher values when using 4 IM and 10 AM mini-cuttings. In relation to NS, the 4 IM mini-cuttings had lower averages (Figure 3E).

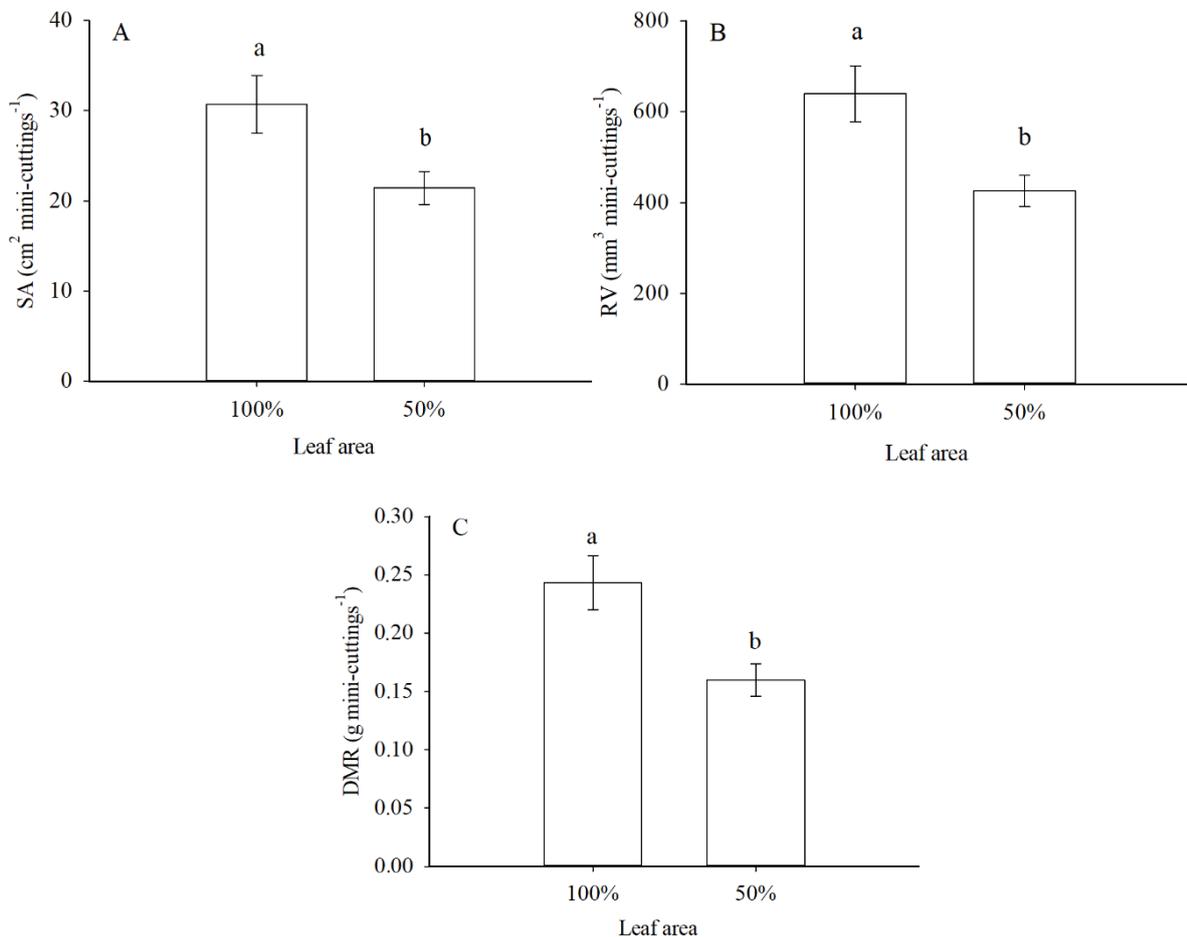
Figure 3 – (A) S - survival; (B) R - rooting; (C) C - calli; (D) IP - productivity index; (E) NS - number of shoots; and (F) NRB - number of roots of *Paratecoma peroba* mini-cuttings 90

days after staking. 6 AM - apical with length of 6 cm; 4 IM - intermediary with length of 4 cm; 10 AM - apical with length of 10 cm. Vertical bars stand for standard error.



In the evaluation of the root system, NRB was influenced by the size of the mini-cutting, with the highest average shown in the 4 IM mini-cuttings (Figure 3F). The *P. peroba* mini-cuttings with an intact leaf area showed higher growth and vigour for radicial system, which was verified by the higher averages of SA, RV, and DMR (Figure 4A, B, C).

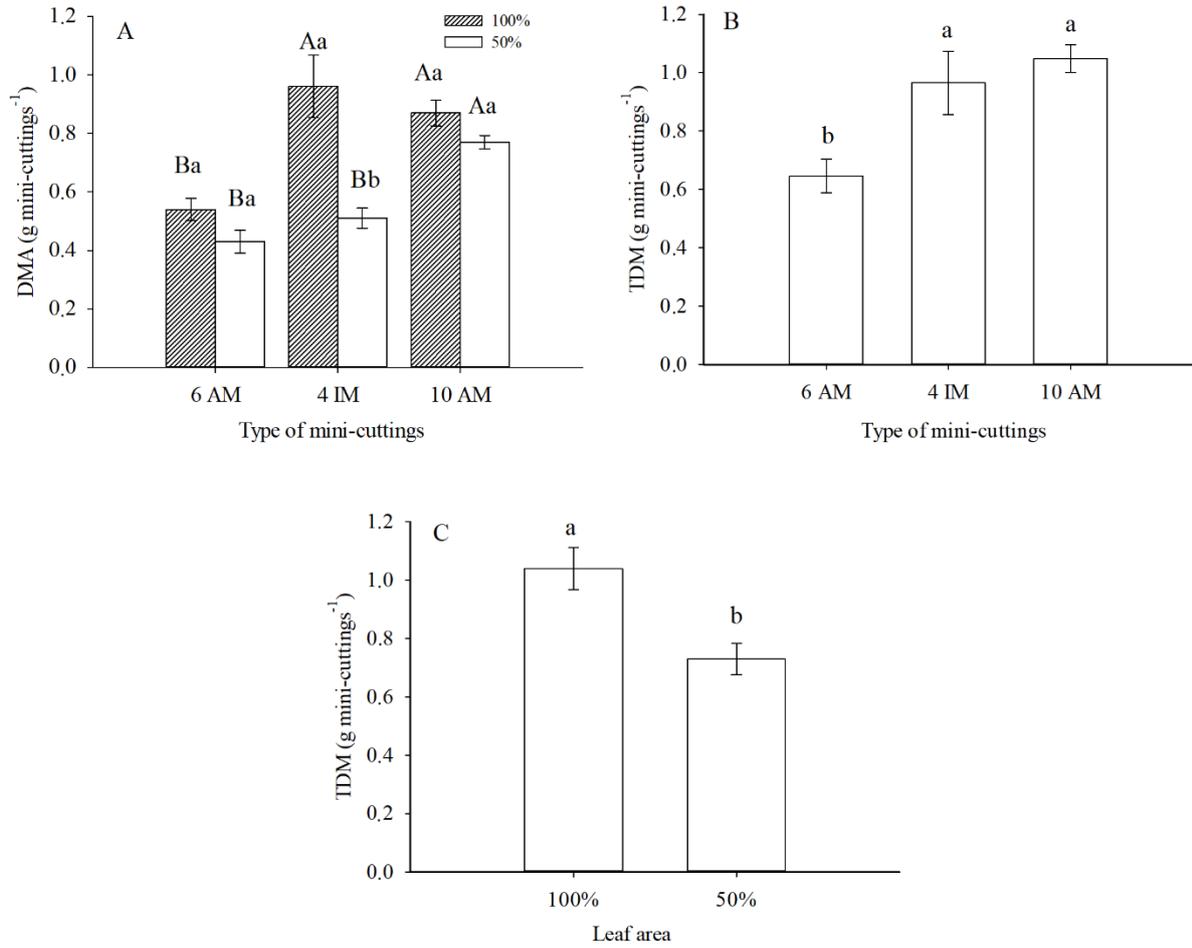
Figure 4 – (A) SA - Root surface area; (B) RV - root volume; and (C) DMR - root dry mass of *Paratecoma peroba* mini-cuttings 90 days after staking as a function of leaf area. LA 100% - maintenance of the total leaf area; LA 50% - reduction of the leaf area to half its total size. Vertical bars stand for standard error.



For DMA, the 10 AM and 4 IM mini-cuttings with LA 100% had the highest averages (Figure 5A). In relation to TDM, there was an isolated treatment effect, where the 4 IM and 10 AM mini-cuttings showed the highest TDM production of the *P. peroba* mini-cuttings (Figure 5B). The LA 50% mini-cuttings had the lowest TDM, which was the same trend as that shown for DMR (Figure 5C).

Figure 5 – (A) DMA - Aerial part dry mass; (B-C) TDM - total dry mass of *Paratecoma peroba* mini-cuttings 90 days after staking in function of the type of mini-cutting and leaf area. Uppercase letters compare the types of mini-cutting by Tukey's test ($p \leq 0.05$). Lowercase letters compare the leaf area within the mini-cutting type. 6 AM - apical with length of 6 cm; 4 IM - intermediary with length of 4 cm; 10 AM - complete apical with length of 10 cm. LA

100% - maintenance of the total leaf area; LA 50% - reduction of the leaf area to half its total size. Vertical bars stand for standard error.



4 DISCUSSION

4.1 Substrates and IBA in rhizogenesis of *Paratecoma peroba*

The first hypothesis tested was validated, i.e. *P. peroba* can be propagated vegetatively by the mini-cutting technique, with satisfactory percentages of survival and rooting, and crucial variables, and considered as the most important in the study of mini-cutting technique. The S (%) and R (%) of the *P. peroba* mini-cuttings were similar to other species of the family Bignoniaceae such as *Handroanthus heptaphyllus* (FREITAS et al., 2016) and *Tecoma stans* (BIONDI et al., 2008), which showed greater than 80% survival and 50% rooting of mini-cuttings.

The hypothesis that the substrate influences on the rooting of the *P. peroba* mini-cuttings was also confirmed. The discrepancies among the rooting of *P. peroba* mini-cuttings in different substrates might be linked to the different physical characteristics of the substrates. The washed sand had an apparent density that was four times higher (1.48 g cm^{-3}) than that of the commercial substrate (0.35 g cm^{-3}), which may have exerted a mechanical resistance or impediment for the formation and penetration of the root system. The inadequate rooting of *P. peroba* in sand might pose a problem for clones producers of this species. Pimentel et al. (2016) demonstrated that substrates with lower densities showed higher porosity and lower water retention capacity, which allowed greater rooting capacity of *Handroanthus heptaphyllus* mini-cuttings. Mendoza-Hernández et al. (2014) stated that the rooting substrate should have an apparent density between 0.3 and 0.8 g cm^{-3} . For the validation of this hypothesis, other materials used as substrates should be evaluated, with different densities and chemical attributes that are easy for the producer to acquire, are inexpensive, have high quality, and are easy to use.

Contrary to the third hypothesis, IBA did not increase the formation of adventitious roots of the *P. peroba* mini-cuttings cultivated in the commercial substrate. Higher concentrations of this growth regulator promoted a decrease in R (%). With the exception of NRB, there were no changes in the growth and quality of the root system formed from the mini-cuttings grown in the different IBA concentrations.

Quantification of auxin is not a widely calculated in rooting studies owing to its low concentration in tissues and the interference of other compounds during the analysis. However, studies have shown a correlation between endogenous auxin levels and rooting capacity (STUEPP et al., 2017). It can be inferred that the linear reduction of R (%) owing

to the concomitant increase of IBA concentrations might be linked to the degree of juvenility of the matrix plant, where the concentration of endogenous auxin (indol-3-acetic acid) of the shoots might be at sufficient levels to stimulate the emission of adventitious roots. The fact that the shoots came from mini-stumps that originated from seedlings produced by seeds (juvenile material) also confirms this hypothesis, as reported by Wendling et al. (2015).

Auxin is an essential hormone for the induction and formation of roots (ATANGANA et al., 2006; DASKALAKIS et al., 2018). However, its exogenous application has been questioned in previous studies of the mini-cutting technique of native species, using juvenile propagules, where the rooting of mini-cuttings with IBA is not favoured, and might actually be harmful to the induction of root beginnings, as for *P. peroba*. This tendency has been corroborated for *Cedrela fissilis* (XAVIER et al., 2003), *Anadenanthera macrocarpa* (DIAS et al., 2012), *Araucaria angustifolia* (PIRES et al., 2013), *Tibouchina sellowiana* (FRAGOSO et al., 2017), *Peltophorum dubium* (MANTOVANI et al., 2017), and *Plathymania reticulata* (PESSANHA et al., 2018). The application of high concentrations of synthetic auxin may lead to toxicity owing to hormonal imbalance (RINALDI et al., 2018). This imbalance leads to many propagules reserves not being directed to the formation of adventitious roots (LIMA et al., 2006). Therefore, given the negative effect on rooting and the association with the purchase, preparation, application, and storage of IBA. The use of IBA in the concentrations utilised for the rooting of *P. peroba* mini-cuttings in the present study is not recommended.

Vegetative propagation is an important techniques means for conserving the germplasm of native and threatened species (AZAD et al., 2018; GUO et al., 2017), and is the first stage that must be overcome for the domestication of species that have high economic potential (ATANGANA et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2019). Thus, the mini-cutting is a viable technique to overcome the difficulties of producing *P. peroba* from seeds. This technique allows cuttings to be obtained for restoration projects in the Atlantic Forest, agroforestry systems, and homogeneous commercial plantations, so long as important factors regarding the maintenance of genetic variability are observed, such as the use of sprouts from a larger number of plants possible, so that they are representative of the population or from seedlings.

4.2 Types of mini-cutting and leaves in the rhizogenesis of *Paratecoma peroba*

In general, vegetative propagation using the mini-cutting technique for *P. peroba* is possible regardless of the pattern adopted for the type of the mini-cuttings. The

segmentation of the 10 AM mini-cuttings into two additional mini-cuttings of 4 IM and 6 AM, in theory, should increase the production of rooted clones of *P. peroba*; however, this depends on the degree of rooting of each type of propagule. Using the PI as a reference, from all the apical 10 AM mini-cuttings, it would be possible to produce 111 clones m⁻² for collect whereas the production of rooted clones originating from the 4 IM and 6 AM groups would create 194 m⁻² clones for collect; thus, optimising the productivity of the mini-garden of *P. peroba*.

However, the pattern of the mini-cuttings influenced the quality of the root system and the growth of the different components, which confirmed the fourth hypothesis being tested. Mini-cuttings of 10 AM and 4 IM showed superior performance of S (%) and R (%), and were prone to the formation of more vigorous clones, thus presenting better TDM results, compared to treatment 6 AM. The better rooting found in the 4 IM and 10 AM mini-cuttings is related to the greater accumulation of starch in these portions (Table 3).

The rooting process is slow, demanding days and even months for completion, which promotes high energy expenditure and consumption of propagule reserves. Thus, insoluble carbohydrates, such as starch, potentiate rooting and improve the effect of auxins (HARTMANN et al., 2011). The positive effect of sugars on rooting has also been attributed to the fact that glucose-6-phosphate and glucose are capable of gluing (chemical reaction in which a carbohydrate is added to another molecule) in the DNA, and thus alter the transcription, performing an important role in regulating root initiation (Denaxa et al., 2012).

The intermediary mini-cuttings presented higher C (%), but they did not have a negative influence on R (%). The calli is a tumour tissue, which usually appears on wounds of differentiated organs and tissues, and has the ability to differentiate forming tissues as roots (MAYER et al., 2018). According to a study by Hartmann et al. (2011), the formation of calli and roots are independent processes for most plants, although in some plants the calli formation may or may not be a precursor to root formation.

Although the intermediary mini-cuttings presented lower NS, they were well developed by the end of the 90-day experiment, reflecting the increase of DMA and TDM. These showed a strong tendency of bifurcation in view of the prominent growth of these shoots of lateral buds just below the upper cut of the mini-cuttings. This characteristic is undesirable for the production of quality clones for timber production in commercial plantations, where there is a preference for individuals with a straight trunk. However, for use in recovering degraded areas, this is not a limiting factor. To establish commercial

forests of *P. peroba*, apical mini-cuttings of 10 cm in length from clones with straight stems that have better morphological conformity and a higher-quality standard should be use.

The types of mini-cutting did not influence the rooting of *Handroanthus heptaphyllus* (FREITAS et al., 2016) and *Toona ciliata* (FERREIRA et al., 2012). Yet, in *Anadenanthera macrocarpa* (DIAS et al., 2015), *Melaleuca alternifolia* (OLIVEIRA et al., 2012), and *Peltophorum dubium* (MANTOVANI et al., 2017) apical mini-cuttings were superior for rooting.

The maintenance of 100% of the leaf area positively influenced the growth and radicial architecture, presenting higher averages of SA, RV, and DMR. A well-formed and robust root system can increase the chances of survival and clones establishment under field conditions (BARROSO et al., 2018). The presence of leaves is essential for the rooting of mini-cuttings because the young leaves and buds are synthesis sites for auxins and cofactors that are translocated via phloem to the base of the stalk, stimulating the exchange activity, differentiation of the xylem, and root initiation (HARTMANN et al., 2011). The maintenance of leaves, especially the basal or subapical leaves, promote root formation. This positive effect is caused by the higher photosynthetic rate provided by the larger leaf area and a higher accumulation of carbohydrates (BATISTA et al., 2014; SOUZA et al., 2013). Given the superiority of the quality of the root system, it is recommended to maintain the entire leaf for *P. peroba* mini-cuttings.

A reduction of leaf area is adopted to reduce transpiration and avoid the 'umbrella effect', which can reduce irrigation efficiency (ALFENAS et al., 2009; XAVIER et al., 2013). Previous studies have shown that the maintenance of whole leaves provided maximisation of the rooting of mini-cuttings of *Eucalyptus dunni* clones, *E. saligna* and *E. urophylla* × *E. globulus* (BATISTA et al., 2014); *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* (FERNANDES et al., 2018); and *Eucalyptus benthamii* (MAYER et al., 2018). Dias et al. (2015) found that the presence of whole leaves led to significant gains in survival, rooting, and number of mini-cutting roots of *Anadenanthera macrocarpa*. These authors affirm that this practice reduces the risk of lesions and contamination in the leaves and also increases the operational yield, because there is a decrease in repetitive movements for leaf cutting, increasing daily production per person.

Therefore, in view of the ease of rooting of *P. peroba* due to the factors evaluated in the present study, the mini-cutting technique for clone production is recommended as an alternative form to seed propagation. For the vegetative production of *P. peroba* clones to be technically feasible and environmentally responsible for restoration projects in the Atlantic

Forest, it is recommended to use as large a number of matrices as possible in the mini-clonal hedge to cover the highest possible genetic variability or mini-cuttings obtained from seedlings. For commercial purposes, mini-cuttings of 10 cm in length with 100% leaf area are recommended, in this case, harvested in mini-clonal hedge originating from cloning of upper trees.

5 CONCLUSIONS

The mini-cutting technique using shoots originating from seedlings produced from seeds is technically feasible for the vegetative propagation of *P. peroba* independently of the mini-cutting pattern and without the addition of IBA. The substrate exerts influence on rooting, not being takeout sand. The entire apical mini-cuttings of 10 cm in length are adequate for clone's production and the maintenance of the total leaf area promotes a greater vigour of the root system of *P. peroba* clones.

6 REFERENCES

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, A. A. V.; MAFIA, R. G.; FRANCISCO DE A, T. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 500p.
- ARCHANJO, K. M. P. DE A.; SILVA, G. F. DA; CHICHORRO, J.F.; SOARES, C.P.B. Estrutura do componente arbóreo da reserva particular do patrimônio natural cafundó, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 145-160, 2012.
- ATANGANA, A. R.; TCHOUNDJEU, Z.; ASAAH, E. K.; SIMONS, A. J.; KHASA, D. P. Domestication of *Allanblackia floribunda*: Amenability to vegetative propagation. **Forest Ecology and Management**, v. 237, n. 1-3, p. 246-251, 2006.
- AZAD, M. S.; ALAM, M. J.; MOLLICK, A. S.; KHAN, M. N. I. Rooting of cuttings of the wild Indian almond tree (*Sterculia foetida*) enhanced by the application of indole-3-butyric acid (IBA) under leafy and non-leafy conditions. **Rhizosphere**, v. 5, p. 8-15, 2018.
- BARROSO, D. G.; OLIVEIRA, T. P. F.; SIQUEIRA, D. P.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. Mini-stumps productivity and rooting of *Khaya ivorensis* A. Chev mini-cuttings treated with IBA. **Cerne**, v. 24, n. 2, p. 114-120, 2018.
- BATISTA, A. F.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. D.; QUEVEDO, F. F.; ASSIS, T. F. Influência da arquitetura foliar de miniestacas na propagação clonal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 819-827, 2014.
- BIONDI, D.; BREDOW, E. A.; LEAL, L. Influência do diâmetro de estacas no enraizamento de *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p. 277-281, 2008.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Acordo de Paris**. Available at: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Accessed in: March 11th 2019.

BRONDANI, G. E.; BACCARIN, F. J. B.; BERGONCI, T.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, AIB, zinco, boro e coletas de brotações. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2014.

BURIN, C.; BISOGNIN, D. A.; LENCINA, K. H.; GIMENES, E. S. Early selection of *Cabralea canjerana* for propagation by mini-cutting. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1018-1024, 2018.

CNCFlora. *Paratecoma peroba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Available at: [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma peroba](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma%20peroba). Accessed in: January 22th 2019.

DASKALAKIS, I.; BINIARI, K.; BOUZA, D.; STAVRAKAKI, M. The effect that indolebutyric acid (IBA) and position of cane segment have on the rooting of cuttings from grapevine rootstocks and from Cabernet franc (*Vitis vinifera* L.) under conditions of a hydroponic culture system. **Scientia Horticulturae**, v. 227, p. 79-84, 2018.

DENAXA, N.-K.; VEMMOS, S. N.; ROUSSOS, P.A. The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 143, p. 19-28, 2012.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; CORREIA, A. C. G.; BARBOSA, G.A. Tipo de miniestaca e de substrato na propagação vegetativa de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 909-919, 2015.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; PAIVA, H. N.; CORREIA, A. C. G. Propagação vegetativa de progênies de meios-irmãos de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 389-399, 2012.

EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, G. A.; DA SILVA, A. G.; JUVANHOL, R. S.; SCHETTINO, V. R.; MARCATTI, G. E.; DOMINGUES, G. F.; ALVES DOS SANTOS, G. M. A. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRA, B.D.; BANHOS, A., MARTINS, L.D. GIS applied to location of fires detection towers in domain area of tropical forest. **Science of the Total Environment**, v. 562, p. 542-549, 2016.

FERNANDES, S. J. O.; SANTANA, R. C.; SILVA, E. B.; SOUZA, C. M. P.; SILVA, C. T. Período de enraizamento de miniestacas de eucalipto provenientes de diferentes lâminas de irrigação em minijardim. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 591-600, 2018.

FERREIRA, D. D. A.; BARROSO, D. G.; SILVA, M. P. S.; SOUZA, J. S.; FREITAS, T. A. S. DE, CARNEIRO, J. G. A. Influência da posição das miniestacas na qualidade de mudas de cedro australiano e no seu desempenho inicial no pós-plantio. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 715-723, 2012.

FRAGOSO, R. O.; STUEPP, C. A.; SÁ, F. P.; KRATZ, D.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; WENDLING, I. Vegetative rescue and ex vitro system production of *Tibouchina sellowiana* clonal plants by cutting and mini-cutting. **Ciência Rural**, v. 47, n. 11, p.1-9, 2017.

FREITAS, T. P.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 313-320, 2016.

GUIMARÃES, R. N.; SOUZA, E. R. B.; NAVES, R. V.; MELO, A. P. C.; RUBIO NETO, A. Vegetative propagation of pequi (souari nut) by cutting. **Ciência Rural**, v. 49, n. 2, p. 1-6, 2019.

GUO, L.; SHAO, X.; XUE, P.; TIAN, Y.; XIAO, Z.; WU, Y. Root sprouting ability and growth dynamics of the rootsuckers of *Emmenopterys henryi*, a rare and endangered plant endemic to China. **Forest Ecology and Management**, v. 389, p. 35-45, 2017.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T. J.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2011. 915p.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SAFIRA - Software para a análise de fibras e raízes**. Versão 1.1. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884593/1/manualsafira2013.PDF>
Accessed in: January 5th 2019.

KOAKUZU, S. N.; ARAÚJO, E. J.; BASSINELO., P. Z.; CARVALHO, R. N.; TEIXEIRA, M. C. **Procedimento para determinação de amido resistente, amido não resistente (solúvel) e total.** Comunicado Técnico 228. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Informação Tecnológica, 2015. 8 p.

LIMA, R. L. S.; SIQUEIRA, D. L.; WEBER, O. B.; CAZETTA, J. O. Comprimento de estacas e parte do ramo na formação de mudas de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, p. 83-86, 2006.

LINS, B. L. A.; NASCIMENTO, M. T. Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma floresta estacional semidecidual do norte fluminense, Brasil. **Rodriguésia**, v. 61, n. 3, p. 559-568, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3th ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009, 384p.

MANTOVANI, N.; ROVEDA, M.; TRES, L.; FORTES, F. D. O.; GRANDO, M. F. Cultivo de canafístula (*Peltophorum dubium*) em minijardim clonal e propagação por miniestacas. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 225-236, 2017.

MAYER, E. L. P.; PERES, F. B.; TAMBARUSSI, E. V. Arquitetura foliar de miniestacas e aplicação de biofertilizante à base de aminoácidos na miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cunge. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 251-260, 2018.

MENDOZA-HERNÁNDEZ, D.; FORNES, F.; BELDA, R. M. Compost and vermicompost of horticultural waste as substrates for cutting rooting and growth of rosemary. **Scientia Horticulturae**, v. 178, p. 192-202, 2014.

OLIVEIRA, Y.; ALCANTARA, G. B.; GUEDES, I.; PINTO, F.; QUOIRIN, M.; BIASI, L.A. Substratos, concentrações de ácido indolbutírico e tipos de miniestacas no enraizamento de melaleuca (*Melaleuca alternifolia* Cheel). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, n. 4, p. 611-616, 2012.

PESSANHA, S. E. G. L.; BARROSO, D. G.; BARROS, T. C.; OLIVEIRA, T. P. F.; CARVALHO, G. C. M. W.; CUNHA, M. Limitações na produção de vinhático (*Plathymenia reticulata* Benth) por miniestaquia. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1688-1703, 2018.

PIMENTEL, N.; BISOGNIN, D.A.; KIELSE, P.; LENCINA, K. H.; MELLO, U. S. Shoot segment and substrate composition in rooting of juvenile ipe-roxo mini-cuttings. **Ciência Rural**, v. 46, n. 6, p. 996-1002, 2016.

PIRES, P.P.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. Ácido indolbutírico e ortotropismo na miniestaquia de *Araucaria angustifolia*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 393-399, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Available at: <<http://www.R-project.org/>>. Accessed in: January 22th 2019.

RINALDI, A. R.; VILLA, F.; SILVA, D. F.; YASSUE, R. M. Stem cuttings and substrates in *Dovyalis* asexual propagation. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 4, p. 587-595, 2017.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C. B.; BORELLI, K.; PRIETO, M. R.; SANTOS, A. J. M.; GODINHO, T. D. O. Produtividade do minijardim e qualidade de miniestacas de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (I-224) em função de doses de nitrogênio. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 273-279, 2015.

SILVA, F. C. D. A. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SOUZA, C. C.; XAVIER, A.; LEITE, F. P.; SANTANA, R. C.; LEITE, H. G. Padrões de miniestacas e sazonalidade na produção de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* HILL X *E. urophylla* ST Black. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 67-77, 2013.

STUEPP, C.; WENDLING, I.; TRUEMAN, S.; KOEHLER, H.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. The use of auxin quantification for understanding clonal tree propagation. **Forests**, v. 8, n. 1, p. 27, 2017.

WENDLING, I.; BROOKS, P. R.; TRUEMAN, S. J. Topophysis in *Corymbia torellianax* *C. citriodora* seedlings: Adventitious rooting capacity, stem anatomy, and auxin and abscisic acid concentrations. **New Forests**, v. 46, n. 1, p. 107-120, 2015.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A.; WENDLING, I.; OLIVEIRA, M. L. Enraizamento de miniestaca caulinar e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 351-356, 2003.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal**: princípios e técnicas. 2^a ed. Viçosa, UFV, 2013, 280p.

5 CAPÍTULO 2 – ESTERCO BOVINO COMO COMPONENTE DE SUBSTRATO E VOLUME DO TUBETE NO ENRAIZAMENTO E CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Paratecoma peroba*

RESUMO

A *Paratecoma peroba* é uma espécie florestal nativa de grande interesse econômico e ecológico, atualmente está em risco crítico de extinção pela exploração madeireira. Não há parâmetros estabelecidos para a produção de mudas da espécie via propagação vegetativa. Assim, objetivou-se com este trabalho analisar o efeito do esterco bovino como substrato e do volume do tubete no enraizamento e crescimento de plantas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia. O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal universitário pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo, município de Jerônimo Monteiro. Foram testadas cinco proporções de esterco bovino e substrato comercial (0:100; 20:80; 40:60; 60:40; 80:20 v/v) e três volumes de tubetes (120, 180 e 280 cm³) dispostos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3, com quatro repetições. As avaliações foram realizadas aos 60 dias em casa de vegetação, para variáveis sobrevivência e enraizamento aparente; e aos 105 dias na fase de rustificação para crescimento e qualidade morfológica. Não houve influência do esterco bovino no enraizamento e crescimento de plantas de *P. peroba*, com exceção do número de folhas. O tubete de 180 cm³ é o mais indicado à produção de mudas de *P. peroba* via miniestaquia.

Palavras-chaves: Peroba amarela; propagação de mudas; resíduos orgânicos; tubete de polipropileno; silvicultura clonal.

ABSTRACT

Paratecoma peroba is a native forest species of great economic and ecological interest, it is currently at critical risk of extinction by logging. There are no established parameters for the production of seedlings of the species via vegetative propagation. Thus, the aim of this work was to analyze the effect of bovine manure as a substrate and the volume of the tube on the rooting and growth of plants of *P. peroba* propagated by mini-cutting. The experiment was conducted at a university forest nursery belonging to the Federal University of Espírito Santo, in the municipality of Jerônimo Monteiro. Five ratios of bovine manure and commercial substrate (0: 100; 20:80; 40:60; 60:40; 80:20 v / v) were tested and three volumes of tubes (120, 180 and 280 cm³) arranged in a design completely randomized in a 5 x 3 factorial scheme, with four replications. The evaluations were carried out at 60 days in a greenhouse, for variables of survival and apparent rooting; and at 105 days in the rusting phase for growth and morphological quality. There was no influence of bovine manure on the rooting and growth of *P. peroba* plants, except for the number of leaves. The 180 cm³ tube is the most suitable for the production of *P. peroba* seedlings via mini-cuttings.

Keywords: Yellow Peroba; seedling propagation; organic waste; polypropylene tube; clonal forestry.

1 INTRODUÇÃO

O panorama atual das atividades de produção de mudas florestais no Brasil é bastante diverso. Em alguns viveiros localizados em regiões isoladas, onde os investimentos são menores, ainda se utiliza substratos compostos por amostras subsuperficiais de solo e uma fonte de matéria orgânica de abundante e de fácil aquisição, sobretudo, para a produção de mudas de espécies nativas voltada à restauração florestal. Nesta etapa, o substrato e a adubação são insumos estreitamente correlacionados que têm se destacado em importância devido à sua ampla influência na propagação de mudas (ARAÚJO et al., 2017; FERNANDES et al., 2019).

O aproveitamento de resíduos é uma prática de gestão ambiental prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, principalmente por mitigar os impactos negativos gerados pela sua disposição inadequada (BRASIL, 2012). Além do aspecto ambiental, a utilização de resíduos de origem orgânica permite a redução dos custos de produção, principalmente em regiões isoladas onde o acesso a substratos comerciais e fertilizantes minerais são escassos e onerosos (ARAÚJO et al., 2017). Toledo et al. (2015) reiteram que, devido à existência de diversos tipos de resíduos, é necessário avaliar as diferentes combinações desses materiais na composição de substratos ideais para cada espécie. O esterco bovino, estabilizado biologicamente, foi um dos mais tradicionais resíduos usados na composição de substrato no passado e seu uso foi retomado nas últimas décadas com o crescimento da preocupação ambiental (ARTUR et al., 2007 TRAZZI et al., 2013;).

Os viveiros modernos têm adotado, gradativamente, o uso de substratos comerciais, tubetes de polipropileno e/ou tubetes biodegradáveis como os Ellepot, em substituição à substratos compostos por amostras de solo e uma fonte de matéria orgânica (ARAÚJO et al., 2016) e sacolas plásticas (GASPARIN et al., 2015). Recipientes de parede rígida e volume reduzido, como tubetes de polipropileno apresentam vantagens em relação às sacolas plásticas, por serem reutilizáveis e permitirem a mecanização de algumas atividades, menor consumo de substrato, maior número de mudas por área, melhor manuseio e ergonomia no viveiro, transporte e plantio das mudas (LISBOA et al., 2012; ABREU et al., 2015; CABREIRA et al., 2019). Promovem ainda uma melhor formação do sistema radicular. Embora haja vantagens, a escolha equivocada do tubete pode acarretar em restrição e deformação do sistema radicular, redução da absorção de água e nutrientes causada pela limitação do espaço, crescimento das mudas, e possíveis consequências no desempenho em campo (DOBNER JÚNIOR et al., 2013; LIMA FILHO et al., 2019).

O desenvolvimento adventício de raízes em estacas/miniestacas é um processo fisiológico em plantas que permite a reprodução clonal e, a propagação em larga escala de plantas no mundo inteiro (HARTMANN et al., 2011). Contudo, o sucesso desses programas é dependente de vários fatores, como o substrato e volume do tubete. Araújo et al. (2019) constataram uma discrepância no enraizamento de *P. peroba* ao utilizar areia e substrato a base de casca de *Pinus*, e recomendam a utilização de outros materiais, com diferentes densidades e atributos químicos, que sejam de baixo custo e de fácil aquisição pelo produtor.

Os estudos com miniestaquia de espécies florestais nativas têm sido realizados, em sua maioria, somente com foco no percentual de enraizamento na saída da casa de vegetação, ignorando-se o principal objetivo que é a qualidade das mudas ao final da rustificação. Acredita-se que, o substrato e tubete adequados pode maximizar o crescimento radicial das miniestacas à medida que é formado, o arranque inicial da parte aérea, e com isso, aumentar o crescimento da muda.

A *Paratecoma peroba* (Record e Mell) Kuhl é uma árvore da família Bignoniaceae nativa de florestas costeiras do leste do Brasil. É comumente conhecida como peroba amarela, peroba do campo, ipê-peroba e é documentada como uma espécie de alto valor econômico e relevância ecológica. A beleza e qualidade de sua madeira levou a uma intensa exploração no passado e, conseqüentemente, rápida redução de sua população. Atualmente encontra-se em perigo crítico de extinção, com uma população de 8.500 indivíduos adultos na Floresta Atlântica (CNCFLORA, 2012). As sementes da espécie *P. peroba* perdem a viabilidade muito rápido, o que restringe a produção de mudas em apenas uma determinada época do ano. Sua propagação vegetativa por miniestacas é possível, atingindo excelentes taxas de enraizamento (ARAÚJO et al., 2019).

Assim, objetivou-se analisar o efeito de substratos formulados à base de diferentes proporções de esterco bovino em diferentes volumes de tubetes no enraizamento e crescimento de plantas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia. Para isso, testou-se as hipóteses: (i) a adição de esterco bovino na composição do substrato melhora o enraizamento e crescimento de mudas de *P. peroba*; e (ii) tubetes com diferentes volumes exercem influência no crescimento de mudas de *P. peroba*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O experimento foi realizado no Viveiro Florestal Universitário, situado no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo, em Jerônimo Monteiro, ES, a 20° 47' S e de 41° 23' W e uma altitude de 120 m (Figura 1). O clima da região de Jerônimo Monteiro segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa - inverno seco e verão chuvoso (ALVARES et al., 2013).

O minijardim de *P. peroba*, que deu origem aos propágulos, foi formado a partir de mudas propagadas por sementes, coletadas em árvores matrizes da região em Sooretama e Linhares-ES, e semeadas em tubetes de polipropileno, com capacidade de 280 cm³ contendo substrato comercial à base de casca de pinus moída e decomposta (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização químico-física do substrato

pH	N	P	K	Ca	Mg	Densidade
CaCl ₂	----- g kg ⁻¹ -----					g cm ⁻³
7,63	8,1	6,5	11,28	10,2	4,4	0,31

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3, referentes a cinco proporções de esterco bovino (0, 20, 40, 60 e 80% v/v) na composição do substrato comercial, e a três volumes de tubetes, 120, 180 e 180 cm³, com quatro repetições. Cada repetição foi constituída por sete miniestacas, totalizando 420 parcelas.

Não foram fornecidas outras fontes de nutrientes. O esterco bovino foi caracterizado antes do experimento quanto aos atributos físico-químicos (Tabela 2), de acordo com metodologia descrita em Silva (2009).

Tabela 2. Caracterização químico-física do esterco bovino

pH	N	P	K	Ca	Mg	Densidade
CaCl ₂	----- g kg ⁻¹ -----					g cm ⁻³
6,25	4,9	7,6	9,0	21,3	12,6	0,55

2.2 Preparação das miniestacas e aplicação dos tratamentos

As brotações utilizadas para o preparo das miniestacas foram coletadas no período de 6:30 a 8:00 da manhã, utilizando-se uma tesoura de poda. Logo após a coleta, as brotações foram acondicionadas em caixas de isopor para manter as condições de vigor e turgescência, em seguida foram levadas para o Laboratório de Propagação e Qualidade de Mudanças do viveiro, para a confecção das miniestacas.

As miniestacas foram confeccionadas com 10 cm de comprimento, nas quais se manteve a gema apical e 100% da área foliar (ARAÚJO et al., 2019). Depois de confeccionadas as miniestacas foram submetidas à desinfecção mediante imersão, por 1 minuto, em hipoclorito de sódio a 0,5%, com posterior lavagem em água corrente, e em seguida imersas em fungicida não sistêmico a 0,2%, à base de Captana 480 g L⁻¹. O estaqueamento foi realizado nos tubetes preenchidos com substrato com seus respectivos tratamentos, onde cada recipiente recebeu uma miniestaca..

Posteriormente, as miniestacas de *P. peroba* foram colocadas em bandejas alocadas em canteiro suspenso em casa de vegetação climatizada com sistema de nebulização intermitente, umidade relativa do ar média superior a 80% e temperatura em torno de 25 °C.

2.3 Avaliação de plantas

As avaliações foram realizadas em duas etapas da produção de mudas: 1) sobrevivência (S%) e enraizamento aparente (EA%), obtida por meio da porcentagem de plantas com raízes visíveis na extremidade inferior do tubete, aos 60 dias em casa de sombra, segundo metodologia baseada de Schwambach et al. (2008) e Batista et al. (2014); posteriormente as bandejas foram alocadas em casa de sombra por 30 dias e 15 dias em área de rusticificação a pleno sol. 2) ao final deste período foi avaliado o percentual de plantas vivas e totalmente formadas aos 105 dias na área de rusticificação.

Aos 105 dias após o estaqueamento, foi mensurado a altura da parte aérea (H, cm), avaliada a partir do colo da muda até a inserção da última folha, com auxílio de régua graduada; diâmetro do colo (DC, mm), medido ao nível do substrato utilizando paquímetro digital; o número de folhas (NF), determinada por meio da contagem do número de folhas visíveis.

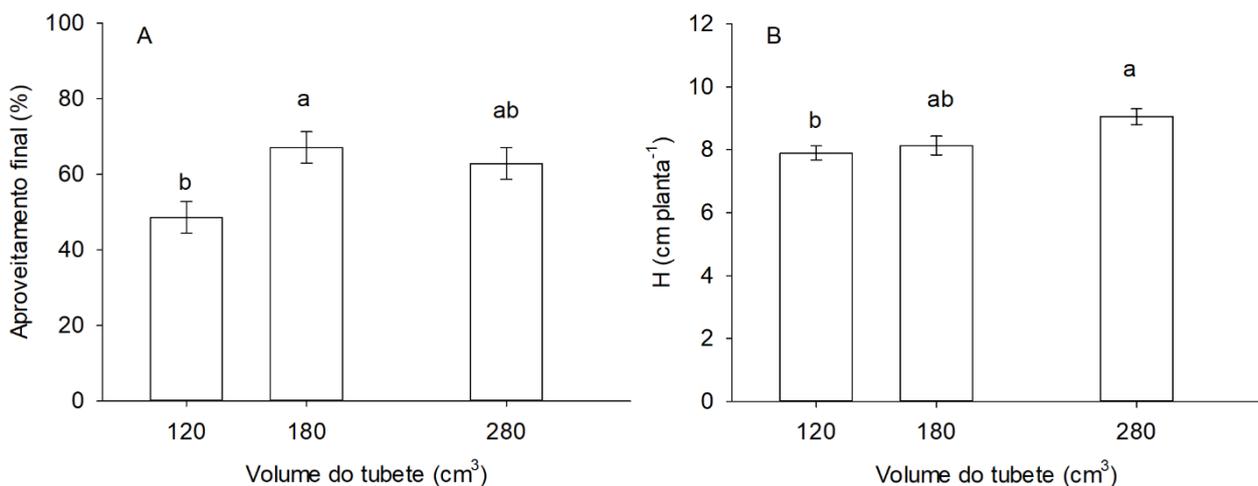
Foram coletadas aleatoriamente duas mudas de cada repetição para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹), massa seca de raízes (MSR, g planta⁻¹) e a massa seca total (MST, g planta⁻¹). Para isso foi realizada a retirada das plantas dos tubetes, lavagem em água corrente do sistema radicular. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos de papel e colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C, por um período de aproximadamente 72 h, sendo então pesado em balança analítica (0,0001 g). Após obtenção dessas variáveis, foi realizada a determinação do Índice de Qualidade de Díckson (IQD) com a equação:
$$IQD = MST / [(H/D) + (MSPA/MSR)]$$
 (DÍCKSON et al., 1960).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para a pressuposição de normalidade e teste de Bartlett para homocedasticidade. Em seguida os dados foram submetidos à análise de variância e ao se verificar diferenças significativas, pelo teste F a 5%, foi aplicado teste de Tukey ao nível de 5% para as médias do fator qualitativo, volume de tubetes. Foi aplicada análise de regressão a fim de verificar a proporção de máxima eficiência de esterco bovino para cada variável, por meio da primeira derivada dos estimadores β_0 e β_1 . Para a escolha das equações foi considerada a significância dos parâmetros, teste t, o realismo biológico do fenômeno e o coeficiente de determinação (R^2). As análises foram realizadas utilizando-se o programa R Core Team (2018) versão 3.5.0.

3 RESULTADOS

As miniestacas de *P. peroba* apresentaram sobrevivência de 91,42% e o percentual de enraizamento aparente na extremidade inferior do tubete de 19,84% aos 60 dias, na saída da casa de vegetação. Para ambas as variáveis não houve influência do esterco bovino e do volume do tubete. Ao final do período de rustificação, os resultados da análise de variância evidenciaram diferença ($p \leq 0,05$) da taxa de aproveitamento apenas para o volume do tubete, onde o tubete 180 cm³ apresentou um melhor resultado (67,14%), não diferindo do tubete 280 cm³ (62,85%). O tubete de 120 cm³ proporcionou um menor aproveitamento final das plantas (48,57%) em relação ao tubete 180 cm³ (Figura 1A).

Figura 1 – Aproveitamento final (A); altura (B) das mudas de *Paratecoma peroba* com 105 dias propagadas por miniestaquia em função do volume do tubete. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Barras verticais representam erro padrão da média.

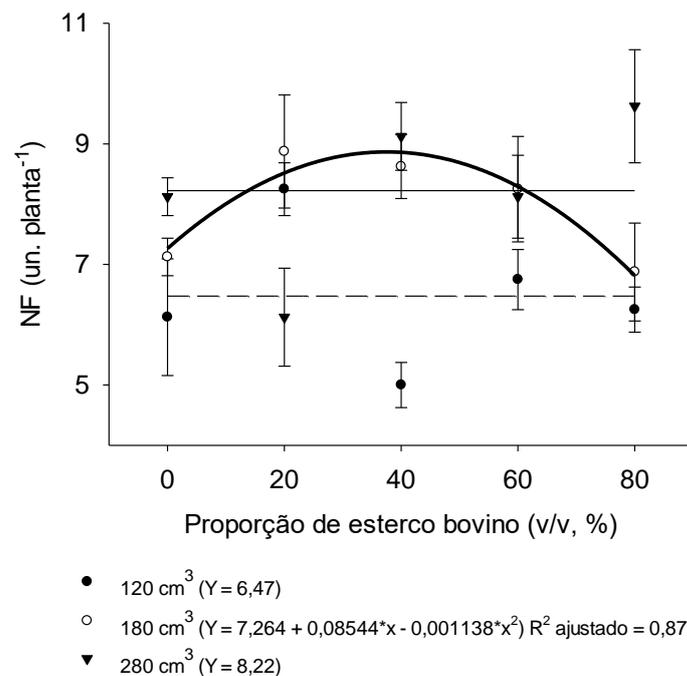


A H das plantas de *P. peroba* foi afetada ($p \leq 0,05$) pelo volume do tubete (Figura 1b), onde recipientes com 280 e 180 cm³ promoveram médias maiores dessa variável, 9,05 e 8,13 cm planta⁻¹, respectivamente. O DC das plantas foi de 3,25 mm planta⁻¹ não havendo efeito ($p > 0,05$) dos tratamentos. Do mesmo modo, as proporções de esterco bovino e os volumes dos tubetes não promoveram diferença significativa para relação H/DC, que apresentou em média 2,64.

Houve interação ($p \leq 0,05$) entre o volume dos tubetes e os substratos com proporções distintas de esterco bovino para a variável NF (Figura 2). A maior produção foi obtida em plantas do tubete 180 cm³, em média 8,86 folhas planta⁻¹, foi obtido na proporção estimada 37,54:62,46 (esterco bovino e substrato comercial). Não houve significância dos

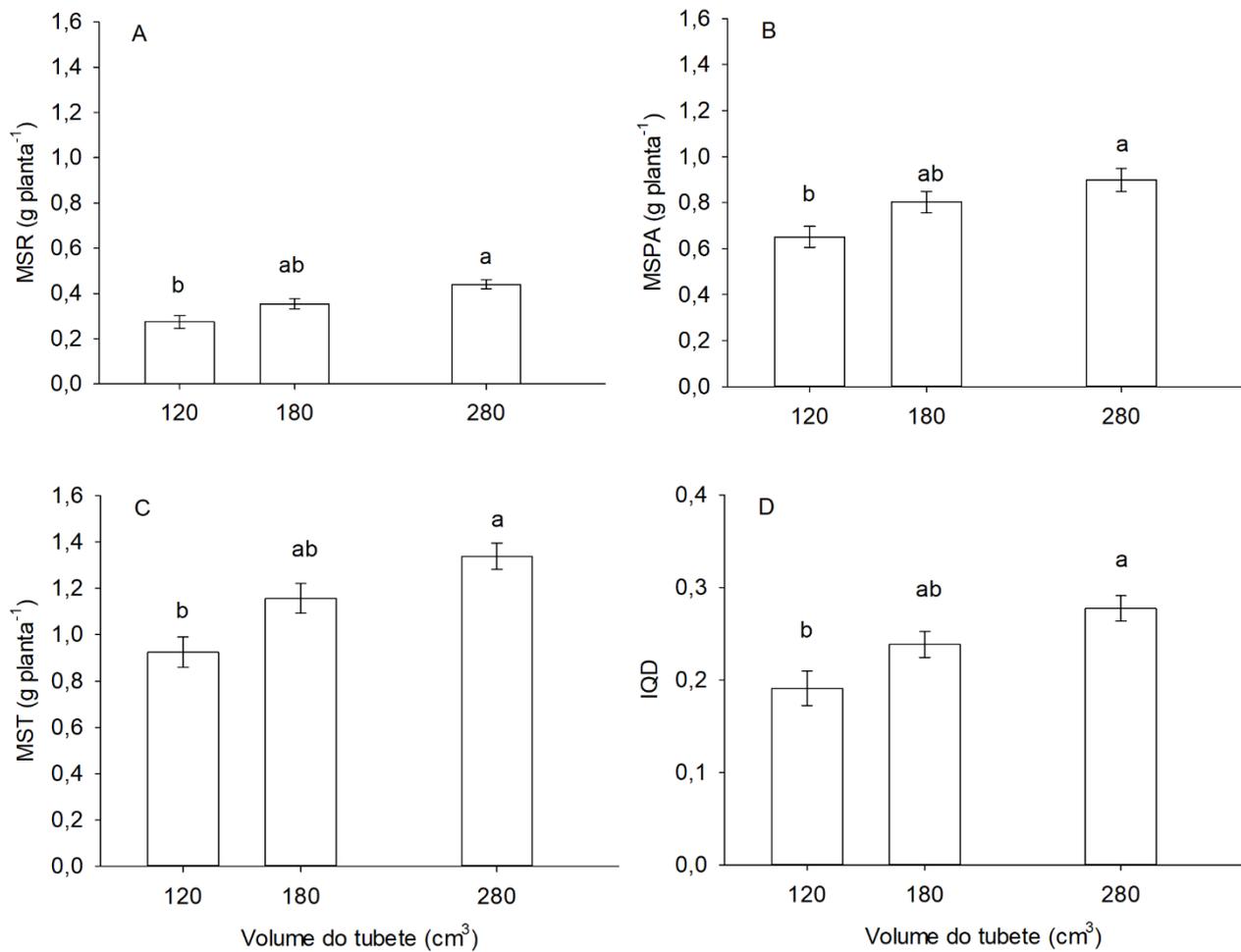
modelos testados para os tratamentos 120 e 280 cm³, no qual apresentaram 6,47 e 8,22 folhas planta⁻¹, respectivamente.

Figura 2 – Número de folhas das mudas de *Paratecoma peroba*, aos 105 dias após o estaqueamento, em função de proporções de esterco bovino e volume do tubete. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Barras verticais representam erro padrão da média.



Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre proporções de esterco bovino e os volumes dos tubetes para o NR. No geral as plantas enraizadas e completamente formadas aos 105 dias apresentaram em média 5,68 raízes emitidas diretamente na base da miniestaca. Todavia, os tubetes maiores promoveram efeito positivo na produção de biomassa das plantas. A MSR foi maior em mudas produzidas em tubete de 280 cm³, não diferindo estatisticamente daquelas produzidas em tubete 180 cm³, com médias de 0,43 g e 0,35 g planta⁻¹ respectivamente (Figura 3A). O mesmo resultado foi encontrado para a MSPA e MST, onde mudas produzidas em tubetes de 120 cm³ apresentaram menor desempenho, com 0,65 g e 0,92 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 3B; 3C). Por fim, a qualidade morfológica das mudas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia também se mostrou superior nos tubetes 280 e 180 cm³ (Figura 3D).

Figura 3 – Massa seca da raiz (A); massa seca da parte aérea (B); massa seca total (C); e índice de qualidade de Díckson (D) de mudas de *Paratecoma peroba* aos 105 dias após o estaqueamento, em função de proporções de esterco bovino e volume do tubete. . Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Barras verticais representam erro padrão da média.



4 DISCUSSÃO

As miniestacas de *P. peroba* apresentaram sobrevivência acima de 90% aos 60 dias na saída da câmara de nebulização. Esse desempenho é compatível aos encontrados por Araújo et al. (2019) para a mesma espécie, por Freitas et al. (2016) em *Handroanthus heptaphyllus*, e Biondi et al. (2008) em *Tecoma stans*, ambas espécies da família Bignoniaceae. O percentual de enraizamento aparente na extremidade inferior do tubete foi baixo, aos 60 dias. O enraizamento aparente é uma variável não destrutiva utilizada nos viveiros como indicativo de enraizamento, contudo, deve ser analisada com atenção, visto que, demanda tempo para o crescimento e aparecimento do sistema radicial ao final do tubete, especialmente, em tubetes maiores em comprimento, o que pode ocultar os resultados.

A adição de esterco bovino como componente do substrato não promoveu melhoria ou prejuízo no enraizamento e crescimento de plantas de *P. peroba*, com exceção do número de folhas (NF). Resultados contrasta a outros estudos do gênero, onde tem-se observado que espécies florestais são bastante responsivas e apresentam crescimento positivo e significativo à adição de resíduos orgânicos ao substrato, a exemplo: *Caesalpinia pulcherrima* cultivas com composto orgânico e resíduo da extração de fibras de sisal (MOREIRA et al., 2018); *Schizolobium amazonicum* em composto orgânico e bagana de carnaúba (ARAÚJO et al., 2017); *Enterolobium contortsiliquum* em caule decomposto do buritizeiro (SOUSA et al., 2013); *Sesbania virgata* e *Anadenanthera peregrina* em composto de lixo urbano (NÓBREGA et al., 2008); e *Mimosa caesalpiniaefolia* em esterco bovino e caprino (FERNANDES et al., 2019). Ponto comum entre esses trabalhos é a utilização de sementes como forma de propagação de plantas. Estudos demonstrando a viabilidade técnica de resíduos orgânicos no enraizamento adventício de espécies lenhosas ainda é incipiente, o que impossibilita comparação.

Logo, os resultados encontrados indicam que o esterco bovino pode ser uma alternativa de baixo custo na produção de substrato para o enraizamento e crescimento de mudas de *P. peroba* em caso de grande disponibilidade deste material na região, possibilitando um destino final ambientalmente correto e economia de substrato comercial. Recomenda-se que a porcentagem deste resíduo no substrato fique situando entre 20 a 80% e que haja suplementação com fertilizante mineral.

A produção de mudas de *P. peroba* oriundas de miniestacas é possível independentemente do tamanho do tubete adotado. Contudo, o volume do tubete exerce

influência no crescimento das mudas desta espécie, confirmando a segunda hipótese. Constatou-se que tubetes com maior capacidade volumétrica, promoveram o maior crescimento e melhor qualidade morfológica. Isto pode ser atribuído ao maior volume útil de desenvolvimento e exploração de nutrientes pelas raízes adventícias. Segundo Carneiro (1995), o volume do recipiente está relacionado à maior disponibilidade de água e nutrientes, garantindo o crescimento das brotações e o surgimento de folhas. Larcher (2006) e Taiz et al. (2017) reiteram que as raízes são fundamentais na absorção de água e nutrientes do substrato, mas também na biossíntese de citocininas, hormônio produzido nos meristemas apicais radiculares e transportado para parte aérea, induzindo o crescimento em H e produção de MSPA.

A sobrevivência e crescimento de mudas em campo são maiores com sistema radicular robusto, independentemente da altura da parte aérea (GOMES; PAIVA, 2011). Assim é possível inferir que o aumento da produção de MSR de mudas de *P. peroba* cultivadas em tubetes maiores pode, em tese aumentar as chances de sobrevivência em campo.

A literatura mostra que cada espécie pode responder de forma distinta ao tipo de recipiente, porém é dependente do substrato utilizado, manejo da adubação, ritmo de crescimento da espécie e do tempo de permanência em viveiro. Na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*, Lisboa et al. (2012) analisando três volumes de tubetes (115, 180 e 280 cm³) concluíram que para o *C. brasiliense* o tubete mais indicado é o de 180 cm³ e para o *T. ciliata* o de 280 cm³. Cabreira et al. (2019) constataram que o uso do tubete de 280 cm³ proporcionou crescimento superior das mudas de *Schizolobium parahyba*. Lima Filho et al. (2019), analisando o efeito de tubetes de 55, 110, 180 e 280 cm³ na produção de mudas de *Ceiba speciosa* concluíram que o tubete de 110 cm³ permite um crescimento similar ao das plantas nos tubetes de maior volume. Navroski et al. (2016) analisando o efeito de doses de fertilizante de liberação controlada em tubetes de diferentes tamanhos (55 e 110 cm³) no crescimento de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden, concluíram que para o uso de tubetes de 55 cm³ foi necessário a compensação com maior dose de fertilizante.

Embora exista uma tendência de maior crescimento de plantas em tubetes maiores, alguns estudos mostraram que para algumas espécies essas diferenças após o plantio são suprimidas ao logo do tempo. Melo et al. (2018), analisando a influência do tubete (30, 55, 110, 180 e 280 cm³) no crescimento de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* no viveiro e a campo, constataram que embora as mudas produzidas nos três recipientes de maior

volume tenham apresentado maior crescimento em viveiro, após a implantação a campo esta diferença tende a desaparecer. Dobner Júnior et al. (2013), avaliando características morfológicas de mudas de *Pinus taeda* em tubetes de 55-60 e 200 cm³, constataram que mudas maiores eram produzidas em tubetes maiores, entretanto, não foi observado diferença no desempenho das árvores aos quatro e nove anos após o plantio. Já no estudo de Dias (2011), visando analisar o uso de tubetes biodegradáveis e de polietileno em mudas de *P. peroba* propagadas por sementes aos 90 dias, os tubetes de maior volume promoveram ganhos significativos em H, DC, NF, MSPA, MSR e IQD, resultados similares aos encontrados neste estudo. Aos 120 dias em campo, os resultados se mantiveram, tubetes maiores proporcionaram crescimento inicial em campo maior em relação a tubetes de volume reduzido.

Assim, tubetes maiores podem resultar em mudas maiores, mas requerem mais espaço, substratos e investimento. Por outro lado, pequenos recipientes, são fáceis de manusear, requerem menos espaço e substrato, mas podem limitar o crescimento de mudas de ciclo maior de produção, como a *P. peroba*. Recomenda-se, a realização de outros estudos enfocando avaliação do efeito a médio e longo prazo do volume do tubete na sobrevivência e crescimento inicial em campo de plantas propagadas via miniestaquia. Portanto, nas condições em que foi realizado este estudo, o tubete de 180 cm³ mostrou-se o mais adequado para a cultivo da espécie, com desempenho similar a tubete de 280 cm³, porém, com uma economia considerável de substrato, o que possibilita otimização do espaço do viveiro, diminuição do peso final das mudas e facilidade no transporte para o campo.

5 CONCLUSÕES

O esterco bovino como componente do substrato não exerce influência no enraizamento e crescimento de mudas de *P. peroba* via miniestaquia.

O equilíbrio entre volume do tubete e qualidade morfológica de mudas *P. peroba*, aos 105 dias, é alcançado utilizando-se o recipiente com capacidade volumétrica de 180 cm³.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; FERREIRA, D. H. A. A.; MONTEIRO, F. A. S. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 141-150, 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, v. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.

ARAÚJO, E. F.; GIBSON, E. L.; SANTOS, A. R.; GONÇALVES, E. O.; WENDLING, I. ALEXANDRE, R. S.; POLA, L. A. V. Mini-cutting technique for vegetative propagation of *Paratecoma peroba*. **CERNE**, v. 25, n. 3, p.314-325, 2019.

ARAÚJO, F. E.; ARAUCO, S. A. M.; LACERDA, J. J. J.; RATKE, F. R.; MEDEIROS, C. J. Crescimento e balanço nutricional de mudas de *Enterolobium contortsiliquum* com aplicação de substratos orgânicos e água residuária. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 169-177, 2016.

ARTUR, A. G.; CRUZ, M. C. P. D.; FERREIRA, M. E.; BARRETTO, V. C. D. M.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, v.6, p.843-850, 2007.

ARTUR, A. G.; DA CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; DE MATTOS BARRETTO, V. C.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 6, p. 843-850, 2007.

BATISTA, A.F.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.D.; QUEVEDO, F.F.; ASSIS, T.F. Influência da arquitetura foliar de miniestacas na propagação clonal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 819-827, 2014.

BIONDI, D.; BREDOW, E.A.; LEAL, L. Influência do diâmetro de estacas no enraizamento de *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p. 277-281, 2008.

BRASIL. **Política nacional de resíduos sólidos**: institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2. ed. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 73 p. (Série legislação, 81).

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; JUNIOR, J. A. A.; GUSMÃO, A. N. V.; LOPES, N. F. Fertilization and containers in the seedlings production and post-planting survival of *Schizolobium parahyba*. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1644-1657.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1995. 451p.

CNCFlora. *Paratecoma peroba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma peroba](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma%20peroba). Acesso em: 15 jan. 2020.

DIAS, B. A. S. **Análise comparativa de tubetes biodegradáveis e de polietileno na produção de mudas de *Paratecoma peroba* (Record & Mell) Kuhlm.** 2011 - 72f. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DÍCKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

FERNANDES, M. M.; SOUSA, F. L.; SILVA, J. P. M.; ARAÚJO, E. F.; DE MOURA FERNANDES, M. R.; NÓBREGA, R. S. A. Redes Neurais Artificiais na estimação de variáveis biométricas de mudas de espécies florestais produzidas em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 47-58, 2019.

GASPARIN, E.; ARAUJO, M. M.; SALDANHA, C. W.; TOLFO, C. V. Controlled release fertilizer and container volumes in the production of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan seedlings. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 4, p. 473-481, 2015.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais**: propagação sexual. Editora UFV - Viçosa, MG. Série didática, 2011, 116p.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES, F.T.J.; GENEVE, R.L. **Plant propagation**: principles and practices. 8th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2011. 915p.

DOBNER JÚNIOR, M.; TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; SEITZ, R. A. Influência do volume do tubete e do método de plantio no crescimento de um povoamento de *Pinus taeda* aos nove anos de idade. **Scientia Forestalis**, v.41, n.97, p.7-14, 2013.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532p.

LIMA FILHO, P.; LELES, P. S. D. S.; ABREU, A. H. M. D.; SILVA, E. V. D.; FONSECA, A. C. D. Produção de mudas de *Ceiba speciosa* em diferentes volumes de tubetes utilizando o biossólido como substrato. **Ciência Florestal**, v. 29, n.1, p. 27-39, 2019.

LISBOA, C. A.; DOS SANTOS, P. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; NUNES DE CASTRO, D.; MARQUES DE ABREU, A. H. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 603-609, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3th ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009, 384p.

MELO, L. A.; DE ABREU, A. H. M.; DOS SANTOS LELES, P. S.; DE OLIVEIRA, R. R.; DA SILVA, D. T. Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* benth. produzidas em diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 47-55, 2018.

MOREIRA, F. M.; NÓBREGA, R. S. A.; SANTOS, R. P. D.; SILVA, C. C. D.; NÓBREGA, J. C. A. Cultivation of *Caesalpinia pulcherrima* L. Sw. in regional substrates. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, 2018.

NAVROSKI, M. C.; NICOLETTI, M. F.; LOVATEL, Q. C.; DE OLIVEIRA PEREIRA, M.; TONETT, E. L.; MAZZO, M. V.; FELIPPE, D. Efeito do volume do tubete e doses de fertilizantes no crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Agrarian**, v.9, n.31, p. 26-33, 2016.

NÓBREGA, R. S. A.; PAULA, A. M. D.; BOAS, V.; CUSTÓDIO, R.; NÓBREGA, J. C. A.; MOREIRA, F. M. D. S. Parâmetros morfológicos de mudas de *Sesbania virgata* (Caz.) Pers e de *Anadenanthera peregrina* (L.) cultivadas em substrato fertilizado com composto de lixo urbano. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, 2008.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2011.

SCHWAMBACH, J.; RUEDELL, C. M.; DE ALMEIDA, M. R.; PENCHEL, R. M., DE ARAÚJO, E. F.; FETT-NETO, A. G. Adventitious rooting of *Eucalyptus globulus* x *maidennii* mini-cuttings derived from mini-stumps grown in sand bed and intermittent flooding trays: a comparative study. **New Forests**, v. 36, p. 3, 2008.

SOUSA, W. C.; NÓBREGA, R. S. A.; NÓBREGA, J. C. A.; BRITO, D. R. S.; MOREIRA, F. M. S. Fontes de nitrogênio e caule decomposto de *Mauritia flexuosa* na nodulação e crescimento de *Enterolobium contortsiliquum*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 969-979, 2013.

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

TOLEDO, F. H.; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L. Compost of residues of pulp and paper in the production of eucalyptus seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 711-716, 2015.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; PERONI, L.; GODINHO, T. Estercos de origem animal em substratos para a produção de mudas florestais: atributos físicos e químicos. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 455-462, 2012.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. O. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 401-409, 2013.

6 CAPÍTULO 3 – FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NO ENRAIZAMENTO E CRESCIMENTO DE CLONES DE *Paratecoma peroba*²

RESUMO

Paratecoma peroba é uma espécie florestal nativa de grande interesse econômico e ecológico, que atualmente está em risco de extinção. Além da dificuldade de encontrar indivíduos adultos dessa espécie, a produção de sementes é limitada. Assim, o uso de miniestacas pode facilitar a propagação da *P. peroba*. No entanto, não existem parâmetros estabelecidos para a produção de mudas da espécie. Diante disso, objetivou-se com este estudo analisar o efeito de diferentes doses de fertilizante de liberação controlada (FLC) no enraizamento, crescimento, metabolismo fotossintético e no balanço nutricional de mudas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia. O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal universitário pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo, município de Jerônimo Monteiro. Foram testadas cinco doses de FLC (0; 2; 4; 6 e 8 kg m⁻³), disposto em delineamento inteiramente casualizado com 12 repetições e cada repetição constituída por oito mudas. As avaliações foram realizadas nas três fases de produção de mudas: 1) Sobrevivência aos 60 dias em casa de vegetação, 2) Enraizamento aos 105 dias em casa de sombra; e 3) Avaliação do índice de produtividade, variáveis morfológicas, trocas gasosas, e nutricional por meio dos teores de macronutrientes, índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e do índice de balanço nutricional médio das mudas aos 120 dias na área de rustificação. Não houve influência do FLC na sobrevivência e no enraizamento das miniestacas. O FLC favoreceu um maior índice de produtividade, crescimento vegetativo e atividade fisiológica das mudas. A dose 6 kg m⁻³ mostrou-se suficiente na obtenção de mudas nutricionalmente equilibradas.

Palavras-chave: Enraizamento adventício, miniestaquia, trocas gasosas, adubação, DRIS.

² Submetido na Cerne

ABSTRACT

Paratecoma Peroba is a native forest species of great economic and ecological interest, currently at risk of extinction. In addition to the difficulty of finding adult individuals of this species, seed production is limited, so the use of mini-cuttings can facilitate the spread of *P. peroba*. Thus, the objective of this study was to analyse the effect of different doses of controlled release fertilizer (CRF) on rooting, growth, photosynthetic metabolism and nutritional balance of *P. peroba* clones propagated by mini-cuttings. Five doses of CRF (0, 2, 4, 6 and 8 kg m⁻³) were tested, arranged in a completely randomized design with 12 repetitions and each repetition consisted of eight clones. Evaluations were carried out in the three stages of clones production: 1) Survival at 60 days in a greenhouse, 2) Rooting at 105 days in a shade house; and 3) Evaluation Productivity index, morphological variables, physiological metabolism, and nutritional through macronutrient contents, indices of the integrated diagnosis and recommendation system (DRIS) and the average nutritional balance index of clones at 120 days in the area of rustification. There was no influence of CRF on survival and rooting of mini-cuttings. The CRF favored a higher productivity index, vegetative growth and physiological activity of the clones. The 6 kg m⁻³ dose was sufficient to obtain nutritionally balanced clones.

Keywords: Adventitious rooting, mini-cutting, gaseous exchanges, fertilization, DRIS.

1 INTRODUÇÃO

Paratecoma peroba (Record e Mell) Kuhl, conhecida como peroba amarela, peroba do campo, ipê-peroba é uma Bignoniaceae arbórea descrita como secundária tardia, endêmica da Floresta Atlântica (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010). Possui estrita área de ocorrência natural, habitando o interior de florestas costeiras do leste do Brasil (LINS; NASCIMENTO, 2010). De grande porte, as árvores adultas podem atingir até 40 metros de fuste, com diâmetro variando de 40 a 80 centímetros (LORENZI, 2009). A espécie apresenta floração supra-anual, ocorrendo anos de intensa produção de sementes, seguido por anos de escassez (LINS; NASCIMENTO, 2010). O tempo de crescimento das mudas em viveiro é lento, levando até 8 meses (LORENZI, 2009).

Sua madeira apresenta coloração amarelo pardo e alta massa específica aparente, sendo empregada em revestimentos decorativo e em mobiliário de luxo. O declínio das populações de *P. peroba* face à intensa extração madeireira seletiva e ilegal (VILLELA et al., 2006), somado à falta de programas de reflorestamento e à fragmentação da Floresta Atlântica, a colocaram em risco de extinção. Estima-se que haja em torno de 8.500 indivíduos adultos na natureza (CNCFLORA, 2012).

Para atenuar os impactos ambientais da exploração predatória, uma possibilidade seria o cultivo comercial da *P. peroba*, por conseguinte, ser uma alternativa para o atendimento da demanda de madeira tropical nobre no mercado nacional e internacional. Entretanto, para a domesticação da espécie e seu posterior cultivo, é fundamental entender seu processo de propagação. A propagação vegetativa da *P. peroba* pode contribuir para a produção de mudas em larga escala, base para silvicultura clonal de genótipos com maior produtividade.

Entre os métodos de clonagem de plantas tem-se a miniestaquia, técnica amplamente utilizada na propagação de mudas de espécies de *Eucalyptus* no Brasil, o que contribuiu para a revolução da silvicultura clonal do país em escala comercial (BATISTA et al., 2014; BRONDANI et al., 2014; AZEVEDO et al., 2015; ROCHA et al., 2015; FERNANDES et al., 2018). A miniestaquia tem sido testada com sucesso na propagação de espécies florestais nativas como exemplo, *Cedrela fissilis* (XAVIER et al., 2003); *Anadenanthera macrocarpa* (DIAS et al., 2015); *Handroanthus heptaphyllus* (FREITAS et al., 2016); *Tibouchina sellowiana* (FRAGOSO et al., 2017); *Peltophorum dubium* (MANTOVANI et al., 2017); *Cabralea canjerana* (BURIN et al., 2018). Apesar dos notórios avanços na silvicultura clonal obtidos para as espécies da flora brasileira, a formação de

mudas de qualidade exige um manejo preciso, que depende de diversos fatores como a escolha do recipiente, do substrato, da dose e tipo de fertilizante.

Uma tecnologia na área de fertilização mineral, que tem ganhando espaço nos viveiros de produção de mudas florestais são os fertilizantes de liberação controlada (FLC). Os FLC são revestidos por polímero semipermeável, projetados para liberar o nutriente ativo de maneira controlada, prolongando a duração da liberação em sincronia com as necessidades metabólicas da planta (IRFAN et al., 2018). Como principal desvantagem, apresentam custo superior às fontes solúveis, requerendo a adequação das doses, visando garantir a produção econômica de mudas (ROSSA et al., 2014; 2015).

A literatura evidencia que mudas de espécies florestais propagadas por sementes, são bastante responsivas aos FLC, como a *Cedrela fissilis* (NAVROSKI et al., 2016); *Anadenanthera peregrina*, *Schinus terebinthifolius* (ROSSA et al., 2015); *Peltophorum dubium* (DUTRA et al., 2017) e *Euterpe precatória* (ALMEIDA et al., 2018). Acredita-se que os FLCs possam alcançar melhores resultados que os fertilizantes granulares altamente solúveis no cultivo de mudas propagadas por miniestaquia, liberando os nutrientes de forma gradual à medida que o sistema radicular é formado.

Assim, este trabalho foi conduzido sob a hipótese de que maiores doses de FLC potencializam o crescimento e melhoram o estado fisiológico e nutricional de mudas de *P. peroba* propagadas vegetativamente. Diante disso, objetivou-se com este estudo analisar o efeito de diferentes doses de FLC no enraizamento, crescimento, metabolismo fotossintético e balanço nutricional de mudas de *P. peroba* propagadas por miniestaquia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O experimento foi realizado durante os meses outubro de 2018 a janeiro de 2019 no Viveiro Florestal Universitário pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo (DCFM-CCA-UFES), em Jerônimo Monteiro, ES, a 20° 47' S e de 41° 23' W e uma altitude de 120 m. O clima da região de Jerônimo Monteiro segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa - inverno seco e verão chuvoso (ALVARES et al., 2013).

2.2. Formação do minijardim

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado com cinco doses de FLC (0; 2; 4; 6 e 8 kg m⁻³), adotando-se 12 repetições sendo uma constituída por oito muniestacas, totalizando 480 mudas. O FLC cuja formulação é 13-6-16 (N-P-K) apresentara tempo de liberação de 5 a 6 meses. Na tabela 1 encontra-se a caracterização químico-física do FLC.

Tabela 1 Caracterização físico-química do fertilizante de liberação controlada*, utilizado para a produção de mudas de *Paratecoma peroba*.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Mo	Diâmetro grânulos	Peso de 1.000 grãos
----- g kg ⁻¹ -----									Mm	g
13,00	6,00	16,00	1,40	10,00	0,26	0,05	0,06	0,015	1,5 – 2,5	9,58

*Dados do fabricante

O minijardim de *P. peroba* que deu origem aos propágulos foi formado a partir de 150 mudas propagadas por sementes, coletadas em árvores matrizes localizadas em Sooretama e Linhares-ES. As minicepas foram mantidas em vasos de 3,8 L (altura 25 cm, abertura superior 17 cm, e base 11 cm), preenchidos com substrato comercial à base de casca de pinus moída e compostada, pó de coco e aditivos minerais. Os vasos foram mantidos em área com tela de polipropileno com 50% de sombreamento. A produtividade do minijardim com 120 dias, época da montagem do experimento, foi de 4,71 brotações minicepa⁻¹ e 141 brotações m⁻². A caracterização físico-química do substrato e a

caraterização nutricional das minicepas são apresentadas na Tabelas 2 e 3. Utilizou-se a metodologia descrita por Silva (2009). A irrigação foi realizada por microaspersão acionada durante 10 minutos duas vezes ao dia, e vazão de 8 mm m⁻².

Tabela 2 Caracterização químico-física do substrato comercial a base de Pinus utilizado para a produção de mudas de *Paratecoma peroba*.

pH	N	P	K	Ca	Mg	S	CE	Densidade	CRA
H ₂ O	----- g kg ⁻¹ -----						mS cm ⁻¹	g cm ⁻³	%
6,2	11,5	9,0	5,2	15,0	7,2	4,5	0,8	0,35	50

CE – Condutividade elétrica; CRA – capacidade de retenção de água.

Tabela 3 Caracterização nutricional das minicepas de *Paratecoma peroba*

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Mg	Fe	Cu
----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----					
29,40	4,75	34,52	7,60	3,45	1,41	51,42	18,60	53,15	300,67	5,21

2.3 Preparação e estaqueamento das miniestacas

As brotações utilizadas para o preparo das miniestacas foram coletadas no período de 6:30 a 8:00 da manhã, utilizando uma tesoura de poda. Logo após serem coletadas, as brotações foram acondicionadas em caixas de isopor, para manter as condições de vigor e turgescência, em seguida foram levadas para o Laboratório de Propagação e Qualidade de Mudas do viveiro para a confecção das miniestacas.

As miniestacas foram confeccionadas com tamanho de 10 cm, nas quais se manteve a gema apical e 100% da área foliar (ARAÚJO et al. 2019). Depois de confeccionadas, as miniestacas foram submetidas à desinfecção mediante imersão, por 1 minuto, em hipoclorito de sódio a 0,5%, com posterior lavagem em água corrente, e em seguida imersas em fungicida não sistêmico a 0,2%, à base de Captana 480 g L⁻¹. Em seguida as miniestacas foram estaqueadas em tubetes de 180 cm³, contendo substrato comercial (Tabela 2). Não foi utilizado regulador de crescimento.

Posteriormente, as miniestacas de *P. peroba* foram colocadas em bandejas alocadas em canteiro suspenso em casa de vegetação climatizada com sistema de nebulização

intermitente, umidade relativa do ar média superior a 80% e temperatura em torno de 25 °C.

2.4 Avaliação de mudas

As avaliações foram realizadas em três etapas da produção de mudas: 1) sobrevivência (S%) aos 60 dias na saída em casa de vegetação; 2) enraizamento aparente (EA%), obtida por meio da porcentagem de plantas com raízes visíveis na extremidade inferior do tubete, aos 105 dias em casa de sombra, segundo metodologia baseada de Schwambach et al. (2008) e Batista et al. (2014); e 3) Índice de produtividade (IP, mudas m^{-2}), por meio da produtividade do minijardim (141 brotações m^{-2}) x percentual de mudas vivas e totalmente formadas aos 120 dias na área de rustificação a pleno sol, de cada tratamento, segundo metodologia adaptada de Rocha et al. (2015).

Aos 120 dias após o estaqueamento, foram coletadas, aleatoriamente, quatro mudas de cada repetição, para a determinação da altura da parte aérea (H, cm), avaliada a partir do colo da muda até a inserção da última folha, com auxílio de régua graduada; diâmetro do colo (DC, mm), medido ao nível do substrato, utilizando-se paquímetro digital; número de folhas (NF), determinado por meio da contagem do número de folhas visíveis; concentração de clorofila foliar total (CFT, $\mu g\ cm^{-2}$), por meio de medidor portátil de clorofila SPAD-502.

Para a análise da trocas gasosas, foram coletadas cinco mudas de *P. peroba* aleatoriamente de cada tratamento e foram determinados a fotossíntese líquida (A , $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$), condutância estomática (g_s , $mol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , ppm), transpiração (E , $mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$), utilizando-se analisador de gases infravermelho portátil (IRGA, Li-Cor, modelo LI-6400). Para a determinação da fonte de luz a ser utilizada, realizou uma curva de luz e o ponto de saturação é $800\ \mu mol\ fótons\ m^{-2}\ s^{-1}$, e as avaliações ocorreram entre 07:00 e 09:00 horas da manhã. As análises foram realizadas em um dos folíolos na parte externa do terço superior da planta. A partir dos resultados foram aferidas estimativas da eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s , $\mu mol\ mol^{-1}$).

Após às avaliações fisiológicas, foram determinados a massa seca da parte aérea (MSPA, $g\ planta^{-1}$), massa seca de raízes (MSR, $g\ planta^{-1}$) e a massa seca total (MST, $g\ planta^{-1}$). Para isso foi realizada a retirada das mudas dos tubetes, lavagem em água corrente do sistema radicular. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos de papel

e colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C, por um período de aproximadamente, 72 h, sendo então pesado em balança analítica (0,0001 g). Após obtenção dessas variáveis, foi realizada a determinação do Índice de Qualidade de Díckson (IQD) com a fórmula: $IQD = MST / [(H/D) + (MSPA/MSR)]$ (DÍCKSON et al. 1960).

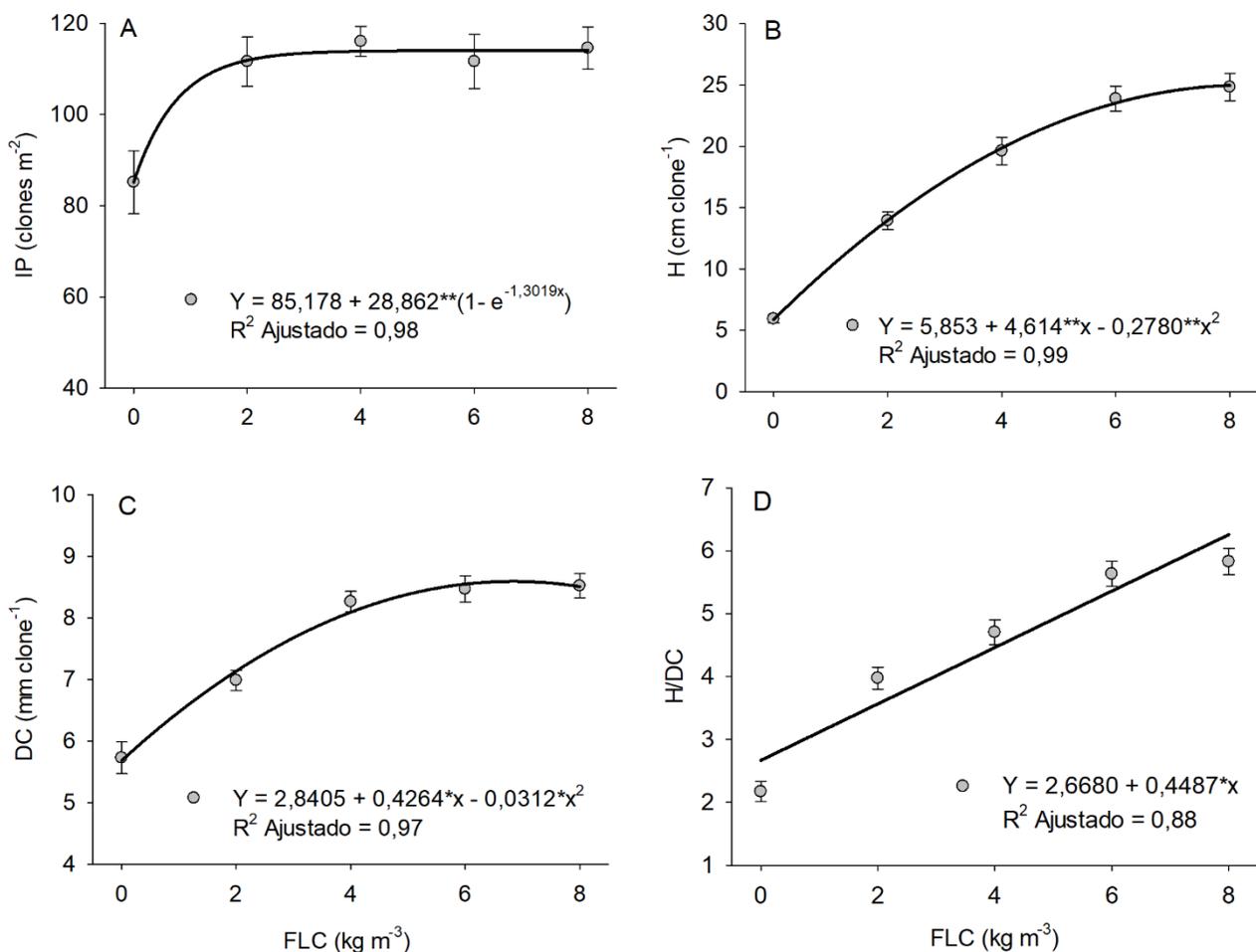
A MSPA foi enviada para o laboratório para a determinação dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S, conforme Silva (2009). Também foram calculados os índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), com o auxílio do programa INAF – Interpretação de Análise Foliar (GARCIA, 2013). Para o cálculo das funções das razões dos nutrientes foi utilizado o método proposto por (BEAUFILS, 1973), com o fator k igual a 10. Por meio dos índices DRIS, foi possível calcular o índice de balanço nutricional médio (IBNm), que é o somatório dos índices DRIS em módulo, dividido pelo número de nutrientes envolvidos. Quanto mais próximo de zero o valor do IBNm, menor o desequilíbrio nutricional das plantas e, potencialmente, maior produção (MALAVOLTA et al., 1997; ARAÚJO et al., 2019).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para a pressuposição de normalidade, e teste de Bartlett para homocedasticidade. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância e ao verificar diferenças significativas, pelo teste F a 5%, foi aplicada análise de regressão, a fim de verificar a dose ótima de FLC para cada variável, por meio da primeira derivada dos estimadores β_0 e β_1 . Para a escolha das equações, foi considerada a significância dos parâmetros, teste t, o realismo biológico do fenômeno e o coeficiente de determinação (R^2). As análises foram realizadas utilizando-se o programa R Core Team (2018) versão 3.5.0.

3 RESULTADOS

As miniestacas de *P. peroba* apresentaram sobrevivência de 93,95% aos 60 dias na saída da casa de vegetação. O percentual de enraizamento aparente na extremidade inferior do tubete foi de 62,50% aos 105 dias na saída da casa de sombra, não havendo influência do FLC. Aos 120 dias, no final do período de rustificação, os resultados da análise de variância evidenciaram diferença ($p \leq 0,05$) entre as doses de FLC sobre o índice de produtividade das mudas de *P. peroba*, ajustando-se a um modelo de regressão não linear. O índice de produtividade aumentou exponencialmente à medida que a dose de FLC, obtendo uma tendência de estabilização a partir da dose 2 kg m⁻³ com média de 112 mudas totalmente formadas por m² de minijardim (Figura 1A).

Figura 1 – Índice de produtividade (A); altura (B); diâmetro do colo (C); relação altura diâmetro do colo (D) de mudas de *Paratecoma peroba*, com 120 dias após o estaqueamento, em função de doses de fertilizante de liberação controlada. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Barras verticais representam erro padrão da média.

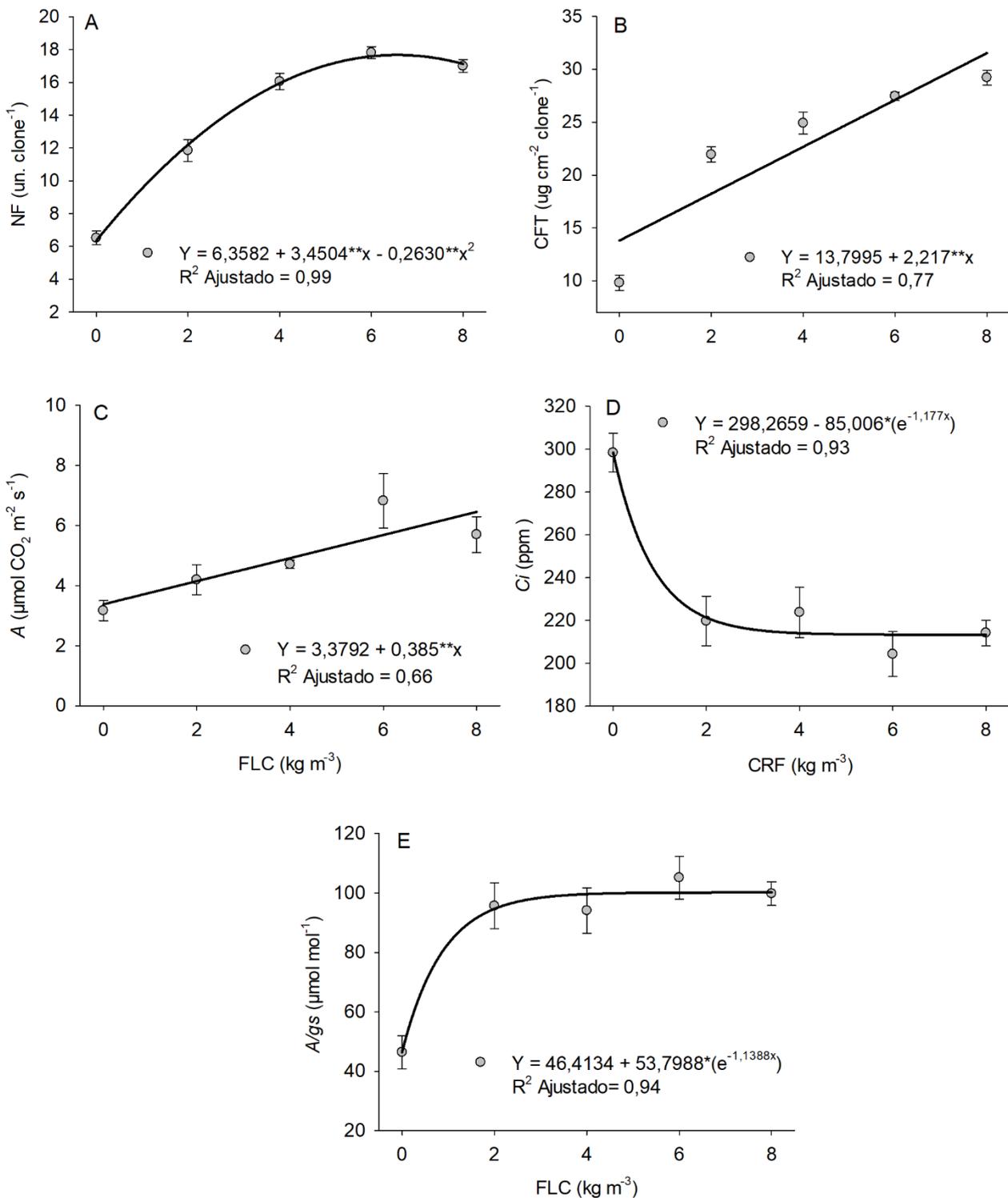


O crescimento em altura foi quadrático, em que o valor máximo, 24,9 cm planta⁻¹, foi observada na dose estimada 8,29 kg m⁻³ (Figura 1B). O aumento das doses de FLC também promoveu um crescimento quadrático do diâmetro do colo, com crescimento máximo de 4,29 mm planta⁻¹, obtida na dose 6,83 kg m⁻³ de FLC (Figura 2C). Para a relação altura diâmetro do colo, as doses de FLC promoveram crescimento linear crescente, com valor máximo de 6,25 na dose 8 kg m⁻³ (Figura 1D).

A máxima produção de folhas, cerca de 16,67 folhas planta⁻¹, foi obtida na dose estimada 6,55 kg m⁻³ (Figura 2A). O conteúdo de clorofila total das mudas *P. peroba* aumentou de forma proporcional ao aumento das doses de FLC, alcançando o valor máximo 31,53 ug cm⁻² planta⁻¹ com a maior dose testada (Figura 2B).

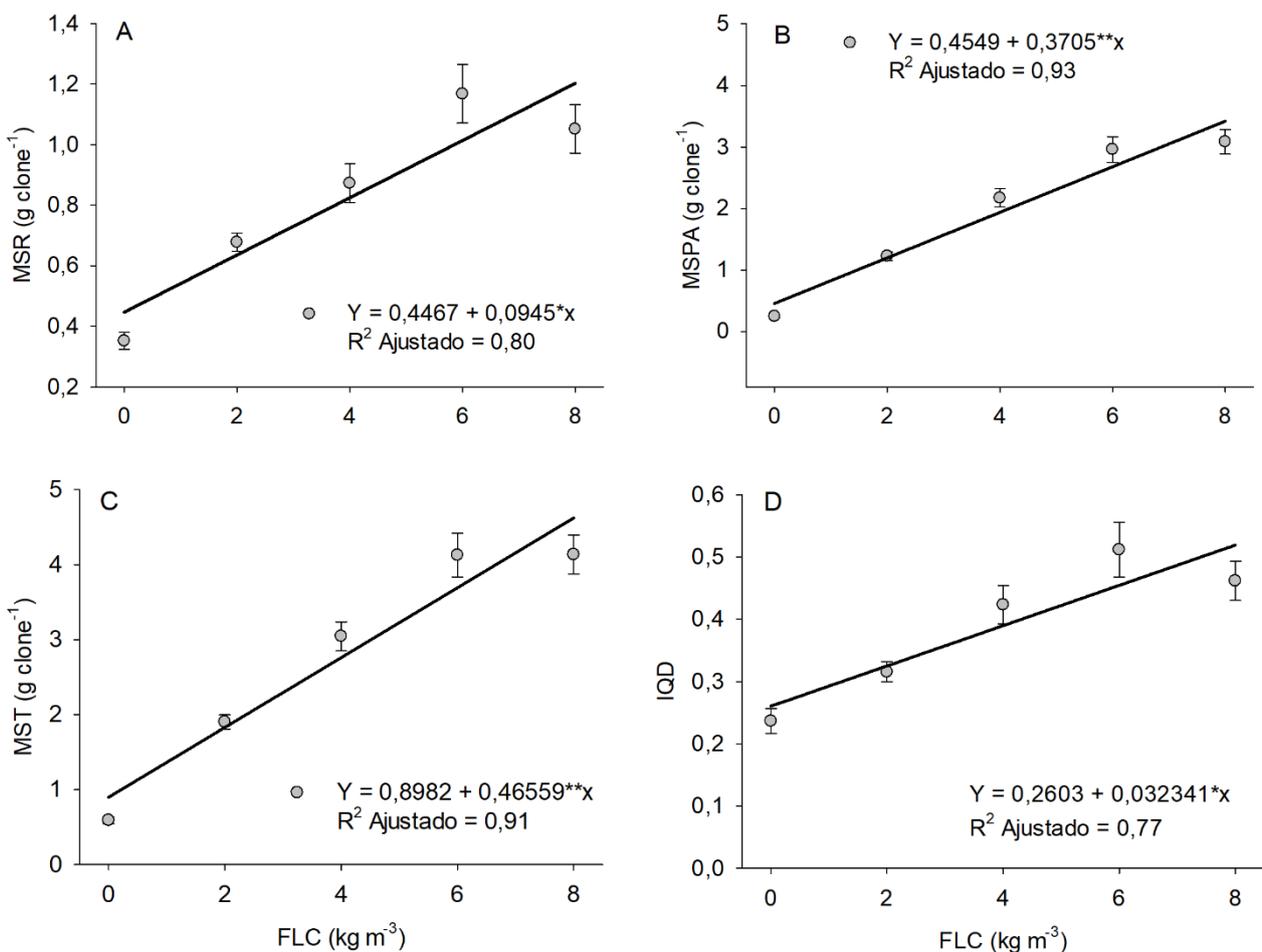
Em relação às variáveis relacionadas ao metabolismo fisiológico, as mudas de *P. peroba* apresentaram fotossíntese líquida estimada de 6,45 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, na dose 8 kg m⁻³ FLC (Figura 2C). Não houve diferença ($p > 0,05$) das doses testadas para a condutância estomática que apresentou em média 0,064 mol H₂O m⁻² s⁻¹, transpiração média de 2,13 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Contudo, constatou-se que as doses de FLC promoveram diferenças significativas na concentração interna de CO₂. Houve diminuição ($p \leq 0,01$) da concentração interna de CO₂ no mesófilo foliar das mudas de *P. peroba* na presença do FLC em relação à testemunha (Figura 2D). O aumento da eficiência intrínseca do uso da água das mudas em função do aumento das doses de FLC foi assintótico, ajustando-se a um modelo exponencial negativo, com o menor valor 46,36 μmol mol⁻¹ verificado na dose 0 kg m⁻³ FLC, e posterior estabilização na eficiência de uso água em mudas a partir da dose 2 kg m⁻³. Com a incorporação do FLC ao substrato, a média apresentada foi de 98,69 μmol mol⁻¹ (Figura 2E).

Figura 2 – Número de folhas (A); clorofila foliar total (B); fotossíntese líquida (C); concentração interna de CO₂ (D); eficiência intrínseca do uso da água (E) de mudas de *Paratecoma peroba*, aos 120 dias após o estaqueamento, em função de doses de fertilizante controlada. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Barras verticais representam erro padrão da média.



A produção de biomassa das mudas de *P. peroba* seguiu o mesmo comportamento apresentado para as demais variáveis, em que houve ganhos ($p \leq 0,05$) com o aumento das doses de FLC. As médias de MSR, MSPA e MST das mudas melhor ajustaram-se ao modelo linear, com incremento médio de 0,18 g, 0,74 g e 0,93 g para cada dose de FLC avaliados, o máximo estimado foi de 1,20 g, 3,41 g e 4,62 g planta⁻¹ respectivamente (Figura 3A, 3B, 3C). Com relação ao IQD, observou-se aumento linear em função do aumento concomitante das doses de FLC, o ponto máximo de 0,51 na dose 8 kg m⁻³ (Figura 3D).

Figura 3 – Massa seca da raiz (A); massa seca da parte aérea (B); massa seca total (C); índice de qualidade de Díckson (D) de mudas de *Paratecoma peroba*, aos 120 dias após o estaqueamento, em função de doses de fertilizante controlada. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Barras verticais representam erro padrão da média.



De acordo com os dados do estado nutricional das mudas de *P. peroba* descritos na Tabela 4, observa-se que o aumento crescente das doses de FLC promoveram aumento nos teores de N e S, uma redução do teor de P. De modo geral, as mudas de *P. peroba*

apresentaram a seguinte ordem de absorção $N > K > Ca > Mg > P > S$. Houve variação dos índices DRIS em função das doses de FLC. Quanto mais próximos de zero estiverem os índices DRIS, mais próximo do equilíbrio nutricional estão as mudas de *P. peroba*. Em relação ao IBNm, observa-se que o aumento crescente das doses de FLC promoveram mudas mais equilibradas nutricionalmente.

Tabela 4 – Teores médios de nutrientes (TN) na massa seca da parte aérea, índice DRIS (ID), índice de balanço nutricional médio (IBNm) e faixas ótimas geradas a partir das normas DRIS para mudas de *Paratecoma peroba* propagadas por miniestaquia aos 120 dias em função da adubação com fertilizante de liberação controlada.

FLC		N	P	K	Ca	Mg	S	IBNm
kg m ⁻³		-----g kg ⁻¹ -----						
0	TN	19,42	4,84	17,50	8,40	5,00	0,86	
	ID	-78,83	104,53	10,14	-15,97	8,69	-28,55	41,11
2	TN	25,06	2,43	13,54	6,84	4,37	0,87	
	ID	-3,96	2,24	7,65	-5,14	12,90	-13,69	7,59
4	TN	27,50	3,41	15,21	8,38	4,39	1,05	
	ID	-13,69	32,16	-6,28	-2,92	1,70	-10,96	11,28
6	TN	27,80	2,66	14,17	8,19	4,52	1,05	
	ID	-4,24	1,14	-1,52	4,42	7,28	-7,07	4,27
8	TN	34,55	2,85	16,04	8,05	3,75	1,48	
	ID	4,87	-1,79	1,46	-4,61	-8,31	8,38	4,90
Limite inferior		28,53	2,52	14,68	7,89	3,95	1,13	
Teor ótimo		29,44	2,66	15,14	7,94	4,23	1,24	
Limite superior		30,36	2,80	15,60	7,99	4,50	1,36	

4. DISCUSSÃO

Houve aumento da taxa de produção ou aproveitamento das mudas ao final da rustificação à medida em que aumentaram as doses de FLC. Constatou-se ainda, que o uso deste fertilizante promoveu ganhos expressivos no vigor e na qualidade final das mudas de *P. peroba*, confirmando a hipótese testada. O modelo de regressão linear ajustado para a maioria das variáveis de crescimento não permitiu prever a dose ótima ou de máxima eficiência técnica para as mudas desta espécie, o que sinaliza, que pode haver ganhos ainda maiores no crescimento de mudas desta espécie com aplicação de doses mais elevadas de FLC.

A H e o DC são variáveis não destrutivas de fácil mensuração, utilizadas para avaliar o crescimento de mudas arbóreas no viveiro. Segundo Carneiro (1995), a H quando utilizada isoladamente, não representa o real potencial de sobrevivência e o crescimento das mudas no campo, devendo estar associada ao DC, e o equilíbrio entre as mesmas. Ainda segundo o autor, a relação H/DC deve se situar entre os limites 5,4 e 8,1, para espécies florestais. Assim, adotando-se como base esta afirmação, pode-se deduzir que doses de FLC de 5,42 a 8 kg m⁻³ resultaram em mudas de *P. peroba* mais equilibradas.

Destaca-se, ainda, o aumento da MSR em função do FLC, indicando que este insumo foi efetivo na formação do sistema radicular robusto e de qualidade. A MSPA está relacionada à qualidade e quantidade de folhas (NF), que são as principais fontes de fotoassimilados (açúcares, aminoácidos, hormônios) e nutrientes (SILVA et al., 2014). A produção de massa seca, é considerada como a melhor variável para descrever o crescimento e qualidade de plantas, pois é o resultado da fotossíntese líquida (LARCHER, 2006; FERNANDES et al., 2019). Assim, acredita-se que quanto maior a MST, maior a rusticidade da muda produzida. O FLC promoveu ainda, o aumento do IQD, um dos principais parâmetros de avaliação usados da qualidade morfológica de mudas florestais no Brasil (MELO et al., 2018).

Na avaliação do metabolismo fisiológico, a clorofila foliar total e fotossíntese líquida apresentaram padrões de resposta semelhantes às apresentadas nas variáveis morfológicas. Verificou-se ainda, que o FLC, independentemente da dose, produziu mudas com menor concentração interna de CO₂ e maior eficiência intrínseca do uso da água, em relação ao tratamento testemunha.

A maior concentração interna de CO₂ das folhas das mudas de *P. peroba* do tratamento sem FLC, em torno de 300 ppm, pode estar relacionado a redução da

assimilação de CO₂ em resposta a queda na produção de trifosfato de adenosina (LAWSON et al., 2008) e a redução da eficiência enzimática do ciclo de Calvin, incluindo a limitação da regeneração da ribulose-1,5 bifosfato (LAWLOR; TEZARA, 2009; PINHEIRO; CHAVES, 2011). O FLC também se mostrou positivo em relação à eficiência intrínseca do uso da água, embora os valores não tenham diferido entre as doses 2 e 8 kg m⁻³.

A adubação com FLC também se mostrou eficaz na nutrição das mudas de *P. peroba*. Observou-se que, mudas cultivadas sem o FLC apresentaram menores teores de N e S na MSPA, com seus respectivos índices DRIS excessivamente negativos, o que denota uma limitação por deficiência do nutriente, quando comparado com os demais. Ao passo que, a adubação com o FLC forneceu quantidades adequadas de N e K, sendo confirmadas pelos menores desvios dos índices DRIS, indicando que as plantas estão nutricionalmente equilibradas. O maior teor de P na ausência de FLC (Tabela 4) pode ser atribuído ao “efeito diluição”, isto é, a maior velocidade de crescimento da parte aérea das mudas dos tratamentos 2, 4, 6 e 8 kg m⁻³ pode ser ter diluído o P na planta.

Analisando-se o diagnóstico do estado nutricional, verificou-se que a dose 6 kg m⁻³ de FLC foi suficiente na produção de mudas de *P. peroba* com o menor valor do IBNm, o que denota melhor equilíbrio nutricional. Esses resultados são compatíveis com o modelo teórico sugerido por Beaufilet (1973), no qual valores baixos de IBNm, que são indicadores de plantas com nutrição equilibrada, em sua maioria corresponderam às plantas potencialmente mais produtivas. Desde que os demais fatores não se encontrem limitantes, como temperatura e umidade (MALAVOLTA et al., 1997; ARAÚJO et al., 2019). Assim, o melhor equilíbrio nutricional promovido pela adubação com o FLC parece ter sido determinante no aumento do crescimento vegetativo e no bom funcionamento do maquinário fotossintético das mudas de *P. peroba*.

No campo, acredita-se que mudas com máximo vigor nutricional e fotossintético possam promover um bom fornecimento de fotoassimilados produzido na parte aérea para o sistema radicular adventício, aumentando a capacidade de absorção de água e nutrientes, e por conseguinte, aumentando a capacidade de sobrevivência e o crescimento inicial. Isso pode ser vantajoso, sob a concepção da implantação de plantios comerciais de clones de *P. peroba*, diminuindo a taxa de mortalidade e custo com replantio. Sob ótica de sistemas silvipastoris, quanto mais rápido for o crescimento inicial do componente florestal, mais rápido pode ser a entrada de animais na área, sem prejuízo à qualidade das árvores.

De modo geral, a literatura mostra que as espécies arbóreas nativas dos diferentes grupos ecológicos sucessionais e exóticas propagadas por sementes são responsivas a

adição de FLC ao substrato. A exemplo de espécies nativas têm-se: *Myroxylon peruiferum* (MORAES NETO et al., 2003); *Anadenanthera peregrina* e *Schinus terebinthifolius* (Rossa et al., 2015); *Cedrela fissilis* (NAVROSKI et al., 2016); e *Peltophorum dubium* (DUTRA et al., 2017). Em espécies exóticas: *Eucalyptus grandis* (ROSSA et al., 2014); *Toona ciliata* (SOMAVILA et al., 2014); *Moringa oleifera* (ROSA et al., 2018); e *Acacia mangium* (SILVA et al., 2019).

Em mudas oriundas da miniestaquia, tem-se o registro dos efeitos positivos do FLC na produção de mudas de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* (SILVA et al., 2014). Entre esses trabalhos houve variações das formulações, do tempo de liberação de nutrientes do FLC e do requerimento nutricional diferenciado de cada espécie, nos quais a dose ótima de FLC variou de 2 e 14,42 kg m⁻³, sendo portanto, evidente a importância desses estudos, no estabelecimento de doses ótimas de FLC e formulações com tempo de liberação adequado para cada espécie cultivada.

O processo de enraizamento é lento, demandando dias e até meses, promovendo alto gasto de energia e consumo de reservas dos propágulos (HARTMANN et al., 2011). Portanto, fica evidente que plantas jovens de *P. peroba* propagadas por miniestacas necessitam de adubação adequada e gradual para o completo desenvolvimento radicular e formação de mudas com melhor padrão de qualidade. O FLC mostrou-se eficiente no atendimento das necessidades nutricionais e metabólicas das mudas, favorecendo a sincronização entre a liberação dos nutrientes e o enraizamento/crescimento das mudas até 120 dias no viveiro. Estas descobertas guiarão a prática de produção de mudas de *P. peroba* de alta de qualidade, destinadas a plantios comerciais e de recomposição.

5. CONCLUSÕES

Não houve influência do FLC na sobrevivência e no enraizamento aparente das miniestacas de *P. peroba*.

A incorporação do FLC ao substrato contribuiu na melhoria do crescimento, metabolismo fisiológico e equilíbrio nutricional das mudas de *P. peroba*.

A maximização do desempenho morfológico e fisiológico das mudas de *P. peroba* foi obtido na dose 8 kg m^{-3} de FLC.

A dose 6 kg m^{-3} mostrou-se suficiente na obtenção de mudas equilibradas nutricionalmente.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, U. O. D.; NETO, A.; DE CARVALHO, R., LUNZ, A. M. P., NOGUEIRA, S. R., COSTA, D. A. D.; ARAÚJO, J. M. D. Environment and slow-release fertilizer in the production of *Euterpe precatoria* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.48, n. 4, p. 382-389, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARAÚJO, E. F.; ARAUCO, A. M. S; DIAS, B. A. S.; DE JESUS L., J. J., BOECHAT, C. L., PORTO, D. L.; ARAUCO, L. R. R. Wastewater from swine farming in the growth and nutrition of *Khaya senegalensis* (DESR.) A Juss seedlings. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 5, p. 1378-1389, 2019.
- AZEVEDO, G. T. D. O. S.; DE SOUZA, A. M.; DE AZEVEDO, G. B.; DE CERQUEIRA, P. H. A. Enraizamento de miniestacas de eucalipto com diferentes doses de polímero hidroretentor incorporado ao substrato minicutting rooting of eucalyptus with different doses of the hydrophylic polymer incorporated into the substrate. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 773-780, 2015.
- BATISTA, A. F.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. D.; QUEVEDO, F. F.; ASSIS, T. F. Influência da arquitetura foliar de miniestacas na propagação clonal de Eucalyptus. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 819-827, 2014.
- BEAUFILS, E. R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): A general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition. Pietermaritzburg, University of Natal: **Soil Science Bulletin**, 1:132p,1973.
- BRONDANI, G. E.; BACCARIN, F. J. B.; BERGONCI, T.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, AIB, zinco, boro e coletas de brotações. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2014.

BURIN, C.; BISOGNIN, D. A.; LENCINA, K. H.; GIMENES, E. S. Early selection of *Cabralea canjerana* for propagation by mini-cutting. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1018-1024, 2018.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1995. 451p.

CNCFlora. *Paratecoma peroba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Available at: [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma peroba](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma%20peroba). Accessed in: August 22th 2019.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; CORREIA, A. C. G.; BARBOSA, G.A. Tipo de miniestaca e de substrato na propagação vegetativa de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 909-919, 2015.

DÍCKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q.; MATOS, P. S.; DE OLIVEIRA, J. C. Fertilizante de liberação lenta no crescimento e qualidade de mudas de Canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 491-498, 2017.

FERNANDES, M. M.; SOUSA, F. L.; SILVA, J.P.M. ; ARAUJO, E. F.; FERNANDES, M. R. DE M.; NOBREGA, R. S. A. Redes Neurais Artificiais na estimação de variáveis biométricas de mudas de espécies florestais produzidas em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 47-58, 2019.

FERNANDES, S. J. O.; SANTANA, R. C.; SILVA, E. B.; SOUZA, C. M. P.; SILVA, C. T. Período de enraizamento de miniestacas de eucalipto provenientes de diferentes lâminas de irrigação em minijardim. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 591-600, 2018.

FRAGOSO, R. O.; STUEPP, C. A.; SÁ, F. P.; KRATZ, D.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WENDLING, I. Vegetative rescue and ex vitro system production of *Tibouchina sellowiana* clonal plants by cutting and mini-cutting. **Ciência Rural**, v. 47, n. 11, p.1-9, 2017.

FREITAS, T. P.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 313-320, 2016.

GARCIA M. B. **INAF: software para interpretação de análise foliar**. 2013. 93 f. Dissertação de mestrado Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GIBSON, E. L.; GONÇALVES, E. D. O.; SANTOS, A. R. D.; ARAÚJO, E. F.; CALDEIRA, M. V. W. Controlled-release fertilizer on growth of *Melanoxylon brauna* Schott Seedlings. **Floresta e Ambiente**, v.26 (Spec n.1), 2019.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T. J.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2011. 915p.

IRFAN, S. A.; RAZALI, R.; KUSHAARI, K.; MANSOR, N.; AZEEM, B.; VERSYPT, A. N. F. A review of mathematical modeling and simulation of controlled-release fertilizers. **Journal of Controlled Release**, v. 271, p. 45-54, 2018.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532p.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 561-579, 2009.

LAWSON, T.; LEFEBVRE, S.; BAKER, N. R.; MORISON, J. I.; RAINES, C. A. Reductions in mesophyll and guard cell photosynthesis impact on the control of stomatal responses to light and CO₂. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 13, p. 3609-3619, 2008.

LINS, B.L.A.; NASCIMENTO, M.T. Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma floresta estacional semidecidual do norte fluminense, Brasil. **Rodriguésia**, v. 61, n. 3, p. 559-568, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3th ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009, 384p.

MELO, L. A.; DE ABREU, A. H. M.; DOS SANTOS LELES, P. S.; DE OLIVEIRA, R. R.; DA SILVA, D. T. Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth.

produzidas em diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 47-55, 2018.

MORAES NETO, S. P.; GONÇALVES, J. L. DE M.; RODRIGUES, C. J.; GERES, W. L. A.; DUCATTI, F., AGUIRRE JR, J. H. Produção de mudas de espécies arbóreas nativas com combinações de adubos de liberação controlada e prontamente solúveis. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 779-789, 2003.

NAVROSKI, M. C.; TONETT, E. L.; MAZZO, M. V.; FRIGOTTO, T.; PEREIRA, M. D. O.; GALVANI, L.V. Procedência e adubação no crescimento inicial de mudas de cedro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 17-24, 2016.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data?. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2010.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Available at: <<http://www.R-project.org/>>. Accessed in: August 22th 2019.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C. B.; BORELLI, K.; PRIETO, M. R.; SANTOS, A. J. M.; DE OLIVEIRA GODINHO, T. Produtividade do minijardim e qualidade de miniestacas de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (I-224) em função de doses de nitrogênio. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 273-279, 2015.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; BOGNOLA, I. A.; WESTPHALEN, D. J.; MILANI, J. E. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 45, p. 1, p. 85-96, 2014.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; DE OLIVEIRA, F. E. M.; DA SILVA, F. F.; DE ARAUJO, J. C. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (angico-vermelho) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-vermelha). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 841-852, 2015.

SCHWAMBACH, J.; RUEDELL, C. M.; DE ALMEIDA, M. R.; PENCHEL, R. M., DE ARAÚJO, E. F.; FETT-NETO, A. G. Adventitious rooting of *Eucalyptus globulus* x *maidennii*

mini-cuttings derived from mini-stumps grown in sand bed and intermittent flooding trays: a comparative study. **New Forests**, v. 36, p. 3, p. 261, 2008.

SILVA, R. B.; SILVA, M. R. D.; SIMÕES, D. Substrates and controlled-release fertilizations on the quality of eucalyptus cuttings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1124-1129, 2014.

SILVA, F. C. D. A. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, L. D. D.; LIMA, A. P. L.; LIMA, S. F. D.; SILVA, R. C.; PANIAGO, G. F. Controlled-release fertilizer in the production and quality of *Acacia mangium* seedlings. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, 2019.

SOMAVILLA, A.; CANTARELLI, E. B.; MARIANO, L. G.; ORTIGARA, C.; LUZ, F. B. DA. Avaliações de mudas de cedro australiano submetidas a diferentes doses do fertilizante osmocote plus®. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 493-498. 2014.

VILLELA, D. M.; NASCIMENTO, M. T.; DE ARAGAO, L. E. O.; DA GAMA, D. M. Effect of selective logging on forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 506-516, 2006.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A.; WENDLING, I.; OLIVEIRA, M. L. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 27, p. 139–143, 2003.

7 CAPÍTULO 4 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS E ADUBAÇÃO MINERAL DE NITRATO POTÁSSIO NA PRODUTIVIDADE, ECOFISIOLOGIA E NUTRIÇÃO DE MINICEPAS E ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE *Paratecoma peroba*

RESUMO

O estado fisiológico e nutricional da planta matriz é apontado como elementos que influenciam diretamente o enraizamento de propágulos. Contudo, a compreensão desses fatores e sua interação permanecem evasivas. Diante disso, objetivou-se analisar a influência do ambiente e do potássio (K) na produtividade de brotações/propágulos, ecofisiologia e nutrição de minicepas de *P. peroba* e o efeito residual no enraizamento de propágulos. Foram realizados quatro experimentos simultaneamente em ambientes com condições atmosféricas distintas com 20 minicepas cada. Os ambientes: A1 (temperatura média = 28,5 °C; umidade do ar média= 92,3%; déficit de pressão de vapor médio = 0,33 Kpa; CO₂ atmosférico médio = 435 ppm); A2 (29,6 °C; 55,5%; 1,91 Kpa; 537 ppm); A3 (31,9 °C; 38,6%; 3,00 Kpa; 809 ppm) possuíam controle automático de climatização; enquanto o ambiente A4 estava sujeito a variação ambiental (22,4 °C; 71,9%; 2,26 Kpa; 400 ppm). Em cada ambiente foram testadas quatro doses de K (0, 126, 252 e 504 mg L⁻¹) aplicados via fertirrigação, com cinco repetições, em delineamento inteiramente casualizado (DIC). O primeiro experimento teve duração de 70 dias e foi avaliado de forma conjunta, a produção de propágulos por minicepa, produção de biomassa, densidade estomática, trocas gasosas, o rendimento quântico do fotossistema II, índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e do balanço nutricional médio das minicepas. O segundo experimento teve duração de 60 dias e analisou-se o efeito residual dos tratamentos aplicados na minicepa no enraizamento e qualidade do sistema radicial de miniestacas. O ensaio ocorreu em casa vegetação climatizada em DIC com quatro repetições por tratamento. Os resultados mostraram que ambientes com maior temperatura do ar, menor umidade, maior DPV e maior concentração de CO₂ promovem ganhos em produtividade de brotações, produção de massa seca da parte aérea e equilíbrio nutricional de minicepas. As doses de K favorecem a concentração de clorofila total, e o metabolismo fisiológico, onde a dose 252 mg L⁻¹ mostrou-se ser a mais adequada. Não houve efeito dos tratamentos sobre o enraizamento de miniestacas, apresentando média superior a 75%.

Palavras-chave: Climatologia agrícola, enraizamento adventício, trocas gasosas, adubação, DRIS.

ABSTRACT

The physiological and nutritional conditions of the mother plant are pointed as elements that directly influence the propagation rooting; however, the understanding of these factors and their interaction remains elusive. Therefore, the objective of this study was to analyze the influence of environment and potassium (K) on the yield of shoots / propagules, ecophysiology and nutrition of *P. peroba* mother plants and the residual effect on rooting propagules. Four experiments were performed simultaneously in environments with different atmospheric conditions with 20 mother plants each. A1 environments (average temperature = 28.5 ° C; average air humidity = 92.3%; average vapor pressure deficit = 0.33 Kpa; average atmospheric CO₂ = 435 ppm); A2 environment (29.6 ° C; 55.5%; 1.91 Kpa; 537 ppm); A3 environment (31.9 ° C; 38.6%; 3.00 Kpa; 809 ppm) had automatic climate control; while the A4 environment was subject to environmental variation (22.4 ° C; 71.9%; 2.26 Kpa; 400 ppm). In each environment four doses of K (0, 126, 252 and 504 mg L⁻¹) were applied via fertigation with five replications in a completely randomized design. The first experiment lasted 70 days and was evaluated jointly, seedling production per matrix plant, biomass production, stomatal density, gas exchange, photosystem II quantum yield, integrated diagnosis and recommendation system (DRIS) indices and the average nutritional balance of the seedlings. The second experiment lasted 60 days and the residual effect of the treatments applied to the mother plant on rooting and quality of the mini-cuttings root system was analyzed. The trial took place in house climate controlled in IHD with four repetitions per treatment. The results showed that environments with higher air temperature, lower humidity, and higher CO₂ concentration promote bud yield productivity, shoot dry mass production and nutritional balance of mother plants. K rates 101 favour total chlorophyll concentration and physiological metabolism, where 252 mg L⁻¹ dose was the most adequate. There was no effect of the treatments on the rooting of minicuttings, presenting average over 75%.

Keywords: Agricultural climate, adventitious rooting, gas exchange, fertilization, DRIS.

1 INTRODUÇÃO

A propagação vegetativa é um importante meio de conservação de germoplasmas de espécies nativas e ameaçados (DIAS et al., 2012; AZAD et al., 2018), e o primeiro estágio a ser superado na domesticação de espécies com potencial econômico (GUIMARÃES et al., 2019). As técnicas de propagação vegetativa permitem ainda a possibilidade de capturar ganhos da heterose de genótipo superiores (JANNAT et al., 2017), e a produção massal de mudas em pouco tempo (BAUL et al., 2010).

O enraizamento de miniestacas é um modelo de propagação vegetativa amplamente utilizada na propagação de clones de *Eucalyptus* no Brasil (BATISTA et al., 2014; BRONDANI et al., 2014; ROCHA et al., 2015), e que nos últimos anos vem sendo aplicado com sucesso em espécies florestais tropicais (DIAS et al., 2015; FREITAS et al., 2016; FRAGOSO et al., 2017; BURIN et al., 2018). O potencial rizogênico difere entre as espécies arbóreas, podendo, ainda, ser influenciado por vários fatores como a juvenilidade do material, balanço hormonal, teor de carboidratos, tipo de miniestaca, presença de folhas, substratos e reguladores de crescimento. Além disso, o enraizamento pode ser influenciado pelas condições fisiológicas e nutricionais da minicepa ou planta matriz doadora de propágulos, e de condições climáticas, referentes à luminosidade temperatura e umidade do ar (ALFENAS et al., 2009; HARTMANN et al., 2011; DENAXA et al., 2012; XAVIER et al., 2013).

O conhecimento dos fatores que afetam a produtividade da planta matriz e a formação de raízes estão diretamente relacionados ao sucesso da miniestaquia. Da mesma maneira, essas informações podem subsidiar o planejamento e otimizar o processo de produção em viveiros. As plantas respondem a fatores bióticos e abióticos existentes no ambiente (LARCHER, 2006). Temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, déficit de pressão de vapor, concentração atmosférica de CO₂ são alguns dos elementos climáticos que influenciam diretamente nas taxas fotossintéticas, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂ e eficiência do uso da água, conseqüentemente, no crescimento das plantas. O entendimento desses fatores contribui para compreensão das respostas da fisiologia e produtividade de planta matriz e enraizamento dos propágulos sob as sazonalidades climáticas.

A nutrição mineral da minicepa e o enraizamento adventício dos propágulos são eventos estreitamente correlacionados e decisivos na formação de mudas de qualidade. O estado nutricional da planta matriz determina a quantidade de compostos metabólicos,

como carboidratos e auxinas, essenciais à iniciação e velocidade da rizogênese (MALAVASI, 1994; XAVIER et al., 2013; PEREIRA; PERES, 2016).

O potássio (K) desempenha muitas funções fisiológicas, como abertura dos estômatos, translocação de fotoassimilados, síntese de polipeptídeos e crescimento meristemático, ativação de enzimas, balanceamento e neutralização de cargas, ajustamento osmótico e manutenção do turgor (BOURNE et al., 1988; OOSTERHUIS et al., 2014; LARBI et al., 2020). Uma nutrição potássica adequada resulta em vários benefícios às plantas, como incremento no crescimento das raízes, aumento da resistência às secas, às baixas temperaturas, pragas e doenças (MEURER, 2006). Em mudas de *Eucalyptus*, o K tem sido aplicado principalmente na fase de rustificação, etapa onde se prepara fisiologicamente as mudas para resistirem aos estresses provocados pelas atividades de plantio e as condições adversas encontradas em campo após as primeiras semanas (D'AVIL et al., 2011). Contudo, trabalhos que avaliem o efeito residual da aplicação de K no enraizamento de estacas / miniestacas ainda são incipientes.

P. peroba (Bignoniaceae) é uma árvore semidecídua, não pioneira, hermafrodita que pode atingir até 40 metros de fuste. Apresenta síndrome de dispersão anemocórica e um tempo de geração de aproximadamente 15 anos (LORENZI, 2009; LINS; NASCIMENTO, 2010; CNCFLORA, 2012). Endêmica da Floresta Atlântica, ocorre naturalmente em uma área estrita de Florestas Estacionais Semidecíduais e Florestas Úmidas de terras baixas do leste do Brasil (LINS; NASCIMENTO, 2010). Nesses locais apresenta uma distribuição geográfica agregada, ocorrendo geralmente em grandes agrupamentos de indivíduos em determinados pontos, e em outras praticamente inexistente (LORENZI, 2009).

P. peroba produz madeira de alta qualidade, usada principalmente para construções comerciais, em revestimento e mobiliário de luxo. Este cenário maximizou a sua exploração, e hoje a espécie encontra-se criticamente em perigo de extinção, com uma população estimada de 8.500 indivíduos adultos (CNCFLORA, 2012). Portanto, a dificuldade de encontrar matrizes de *P. peroba* e o longo período até a planta atingir a fase adulta, associado à natureza recalcitrante das sementes e periodicidade de floração e frutificação supra-anual (LINS; NASCIMENTO, 2010) dificultam sua propagação. A miniestaquia pode ser um método fácil, rápido e barato de propagação da *P. peroba*, possibilitando a produção em larga escala da espécie e auxiliando na conservação dos recursos genéticos.

Assim, este trabalho foi conduzido sob a hipótese de que: (i) as condições ambientais e a adubação potássica influenciam na produtividade de brotos, ecofisiologia e equilíbrio nutricional de minicepas; e (ii) as condições ambientais e da adubação mineral de K da

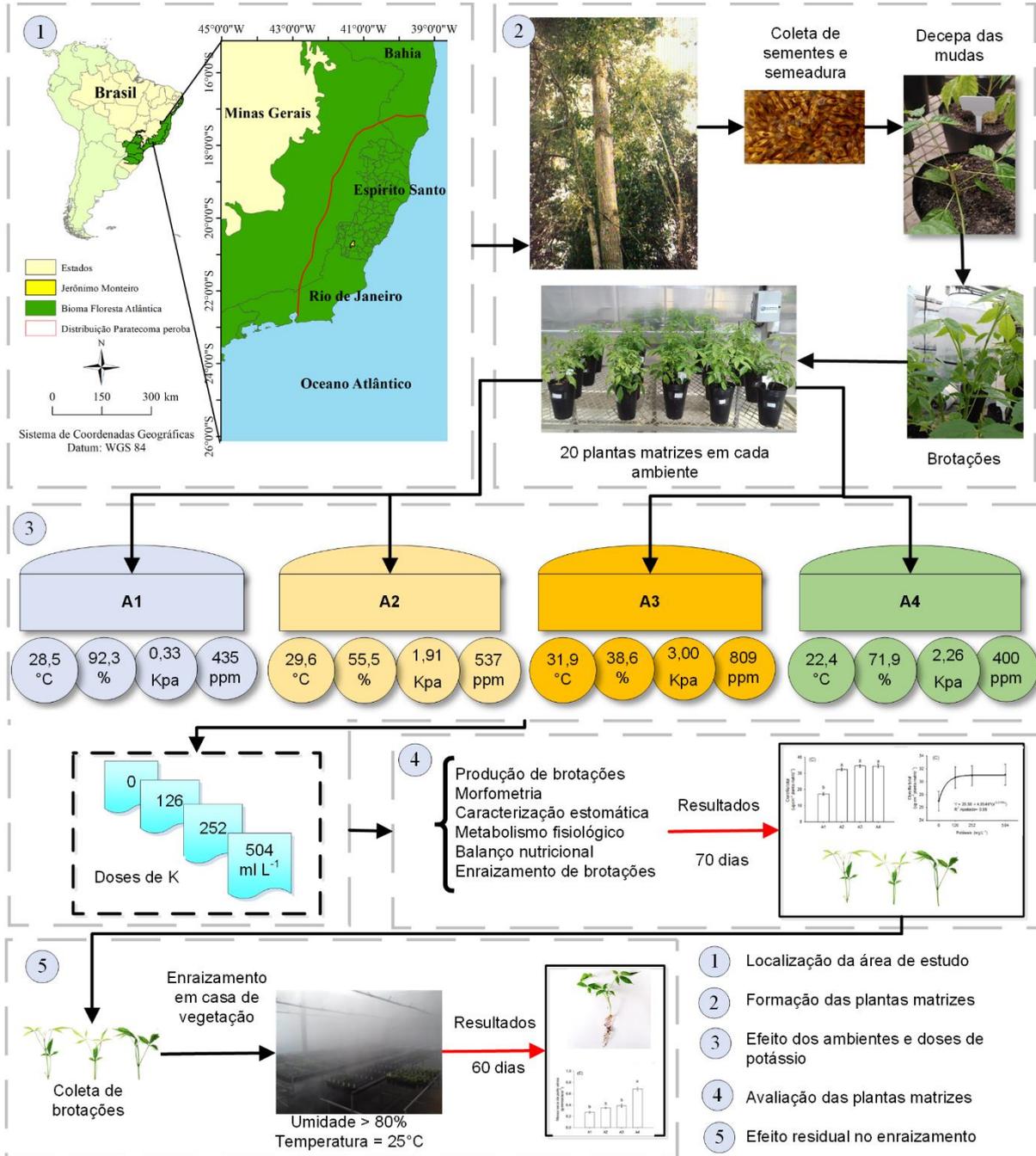
minicepas modulam o enraizamento de propágulos de *P. peroba*. Diante disso, objetivou-se com este estudo analisar a influência do ambiente e do K na produtividade ecofisiologia e nutrição de minicepas e o efeito no enraizamento miniestacas de *P. peroba*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Os experimentos foram realizados em quatro ambientes, em três casas de vegetação climatizadas e em área de minijardim no Viveiro Florestal Universitário, situadas no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo, em Jerônimo Monteiro, ES, a 20° 47' S e de 41° 23' W e uma altitude de 120 m (Figura 1). O clima da região de Jerônimo Monteiro, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa - inverno seco e verão chuvoso (ALVARES et al., 2013).

Figura 1 – Fluxograma representando a localização da área de estudo (Jerônimo Monteiro-ES), projeção da área de ocorrência da espécie e o resumo das etapas metodológicas da análise dos ambientes e da adubação potássica na produção de brotações, morfologia, fisiologia e nutrição de minicepas e enraizamento de miniestacas de *Paratecoma peroba*.



2.2 Formação das minicepas

As minicepas de *P. peroba* foram formadas a partir de mudas propagadas por sementes, provenientes de árvores matrizes localizadas em Sooretama e Linhares-ES. As mudas de *P. peroba* foram produzidas em tubetes plásticos de 280 cm³, contendo substrato

comercial, base de casca de pinus moída e compostada, pó de coco e aditivos minerais e adicionados $8,0 \text{ kg m}^{-3}$ de fertilizante de liberação controlada (FLC), cuja formulação é 13-6-16, com tempo de liberação de 5 a 6 meses. A caracterização físico-química do substrato é apresentada na Tabela 1, utilizou-se a metodologia descrita por Silva (2009).

Tabela 1 – Caracterização químico-física do substrato comercial, base de casca de pinus moída e compostada, pó de coco e aditivos minerais utilizado na produção de mudas de *Paratecoma peroba*

pH	N	P	K	Ca	Mg	S	CE	Densidade	CRA
H ₂ O	----- g kg ⁻¹ -----						mS cm ⁻¹	g cm ⁻³	%
6,2	11,5	9,0	5,2	15,0	7,2	4,5	0,8	0,35	50

CE – Condutividade elétrica; CRA – capacidade de retenção de água.

Aos quatro meses após a semeadura as mudas estavam com 30 cm de altura aproximadamente, e foram transplantadas para vasos de polietileno, de 3,8 litros (25 cm de altura, 17 cm de diâmetro superior e 11 cm de diâmetro de base) preenchidos com o substrato descrito na Tabela 1. Após o transplântio, as mudas foram colocadas em uma área de minijardim, coberta com plástico transparente. A irrigação foi realizada manualmente duas vezes ao dia.

Aos 15 dias após o transplântio para os vasos, as mudas tiveram seus caules quebrados a uma altura de 10 cm da base, visando estimular a ocorrência de brotações, conforme procedimento descrito por Xavier et al. (2013). Quinze dias depois, quando já haviam emitido brotações, foi removida a parte quebrada anteriormente com auxílio de uma tesoura. Assim, 30 dias após o transplântio, o minijardim estava formado com um total de 80 minicepas, apresentando produtividade $4,7$ brotações minicepa⁻¹.

2.3. Efeito do ambiente e do K na produtividade, ecofisiologia e nutrição de minicepas de *P. peroba*

Em cada um dos quatro ambientes foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, os tratamentos foram constituídos por quatro doses de K (0, 126, 252 e 504 mg L⁻¹) aplicados via fertirrigação, com cinco repetições. Cada parcela experimental foi composta de uma minicepa. As doses de K foram baseadas no estudo de D'Avila et al. (2011) para mudas de eucalipto em fase de rustificação.

Foram alocadas 20 minicepas em quatro ambientes com diferentes condições atmosféricas, e iniciou-se os tratamentos com doses de K durante 70 dias. Os ambientes apresentavam regimes distintos de temperatura, umidade relativa do ar e concentração de CO₂. As casas de vegetação (Van der Hoeven®) que representavam os ambientes A1, A2 e A3, localizadas no Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal, possuem controle automático de climatização, o qual permite controle da temperatura e umidade do ar por meio de exaustores e cortinas de umidificação, simulando desta forma ambientes com as diferentes demandas atmosféricas.

A temperatura do ar das casas de vegetação é composta por um sistema de resfriamento evaporativo (pad cooling), ares-condicionados e aquecedores que são acionados por controladores de temperatura (Full Gauge®, MT-543Ri plus). A umidade relativa do ar das casas de vegetação é controlada por meio de controladores de umidade (Full Gauge®, AHC-80 plus) que baseia-se na psicrometria (diferença entre bulbo seco e bulbo úmido) para medir a umidade relativa do ar, e também um sistema de nebulização de bicos tipo fogger (nevoeiro). A variação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar dos sistemas de controle foi controlada e mantida através da utilização do software Sistrad®. O sistema de controle da temperatura foi alterado a cada 30 minutos no período diurno e a cada uma hora no período noturno, já para a umidade desejada foi programada um valor fixo. O controle de injeção do CO₂ foi feito por meio de uma válvula que libera o gás no exaustor, que posteriormente é conduzido à câmara de homogeneização, acoplada ao exaustor, que conduz o gás para o interior das casas de vegetação.

As mudas referentes ao quarto ambiente (A4) permaneceram na área de produção do viveiro, sob condições ambientais locais. O minijardim foi estabelecido em canteiro suspenso, sob cobertura de plástico transparente de polietileno (150 µm), e aberto em todas as laterais. Nos quatro ambientes foram instaladas estações meteorológicas, compostas por sensores de temperatura e umidade relativa do ar (Marca Vaisala, modelo CS500), para caracterização microclimática. Os dados foram coletados a partir de um datalogger com leituras de dados a cada dez segundos e armazenamento dos valores médios a cada cinco minutos. O monitoramento da concentração de CO₂ dentro das casas de vegetação foi realizado, por meio de um analisador portátil da marca Testo AG, modelo testo 535. Na tabela 2 encontra-se a caracterização microclimática dos ambientes testados.

Tabela 2 – Caracterização das variáveis climáticas temperatura do ar (T, °C), umidade relativa do ar (UR, %), déficit de pressão de vapor e concentração de CO₂ (ppm) dos ambientes.

Variáveis	A1	A2	A3	A4
T máxima (°C)	32,99	34,42	36,72	23,10
T média (°C)	28,50	29,61	31,89	22,40
T mínima (°C)	24,15	24,89	27,28	21,70
UR máxima (%)	98,10	62,95	47,01	74,7
UR média (%)	92,31	55,50	38,62	71,88
UR mínima (%)	82,09	48,34	29,61	68,8
DPV máximo (Kpa)	0,88	2,78	4,31	2,26
DPV médio (Kpa)	0,33	1,91	3,00	0,93
DPV mínimo (Kpa)	0,06	1,19	1,94	0,15
CO ₂ (ppm)	435	537	809	400

As doses de K foram aplicadas nos respectivos tratamentos semanalmente. A fonte de K foi o nitrato de potássio (KNO₃, 45% de potássio, 12% de nitrogênio e 1,2% de enxofre) A fertirrigação das minicepas foi realizada com adição de 100 mL da solução nutritiva com o uso de um becker graduado, e molhando somente a parte do substrato para evitar possíveis queima das folhas. Quinzenalmente as minicepas receberam 100 mL de uma solução nutritiva básica segundo metodologia adaptada de Freitas et al. (2017) nas seguintes concentrações: nitrato de cálcio (0,920 g L⁻¹), monoamônio fosfato (0,096 g L⁻¹), sulfato de magnésio (0,364 g L⁻¹), e micronutrientes (0,025 g L⁻¹).

Durante 70 dias de experimentação, foram realizadas oito coletas de brotações para quantificação da produção total e produtividade de brotações por minicepa. Foram coletados e quantificados apenas brotos acima de 6 cm, que poderiam configurar uma miniestaca. Ao final do experimento foram determinadas as seguintes variáveis, produtividade de brotações (PB, minicepa⁻¹ mês⁻¹) e o incremento em diâmetro do coleto (InDC, mm minicepa⁻¹).

Para a análise do metabolismo ecofisiológico das minicepas de *P. peroba* foram determinados a fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ (C_i , ppm), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), utilizando-se analisador de gases infravermelho portátil (IRGA, Li-Cor, modelo LI-6400). A

partir dos resultados foram aferidas estimativas da eficiência intrínseca do uso da água (A/gs , $\mu\text{mol mol}^{-1}$). Para a determinação da radiação fotossinteticamente ativa a ser fixada, realizou-se uma curva de luz e o ponto de saturação é $800 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As medições ocorreram entre 07:00 e 09:00 horas da manhã. Utilizou-se 400 ppm de CO_2 . As análises foram realizadas em um dos folíolos na parte externa do terço superior da planta. A determinação da eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) foi realizada no terço médio das folhas das minicepas com auxílio de um fluorômetro portátil de luz modelo Fluronpen 10. As medições também ocorreram entre 07:00 e 09:00 horas da manhã.

Após às avaliações fisiológicas, foi realizada a aferição da densidade estomática (DE) das folhas por meio da técnica de impressão da epiderme. Para isso coletou-se amostras de folhas de cada minicepa, totalizando 80 lâminas. As lâminas foram montadas, colocando uma gota de adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) sobre uma lâmina de vidro. A região abaxial do folíolo foi então pressionada sobre a lâmina, por aproximadamente 10s, tempo necessário para que o adesivo se espalhe e seque o suficiente, permitindo a separação do folíolo da lâmina e a manutenção da impressão da epiderme. Observou-se a DE, pela contagem visual do número de estômatos em uma área de $30000 \mu\text{m}^2$ ($600 \times 500 \mu\text{m}$) localizados em cinco campos em cada lâmina, escolhidos ao acaso, com auxílio de um microscópio com aumento de 400x, sendo em seguida fotografados com câmera digital.

Foram determinados a massa seca da parte aérea (MSPA, g planta^{-1}), massa seca das folhas (MSF g planta^{-1}) e teor de nutrientes na MSF das minicepas. Para isso foi realizada a retirada da parte aérea das minicepas dos vasos. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos de papel e colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$, por um período de, aproximadamente, 72 h, sendo então pesado em balança analítica ($0,0001 \text{ g}$). A MSPA foi enviada para o laboratório, para a determinação dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S, conforme Silva (2009). Também foram calculados os índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), com o auxílio do programa INAF – Interpretação de Análise Foliar (GARCIA, 2013). Para o cálculo das funções das razões dos nutrientes foi utilizado o método proposto por (BEAUFILS, 1973), com o fator k igual a 10. Por meio dos índices DRIS, foi possível calcular o índice de balanço nutricional médio (IBNm), que é o somatório dos índices DRIS em módulo, dividido pelo número de nutrientes envolvidos. Quanto mais próximo de zero o valor do IBNm, menor o desequilíbrio nutricional das plantas e, potencialmente, maior produção (MALAVOLTA et al., 1997; ARAÚJO et al., 2019).

2.4. Efeito do ambiente e do K da minicepa no enraizamento de miniestacas de *P. peroba*

Na oitava coleta, visando analisar o efeito do ambiente e da adubação das minicepas sobre o enraizamento, as brotações foram levadas para o Laboratório de Propagação e Qualidade de Mudas do viveiro para o preparo das miniestacas, onde foram submetidas à desinfecção mediante imersão, por dois minutos, em hipoclorito de sódio a 0,5%, e em seguida imersas em fungicida não sistêmico a 0,2%, à base de Captana 480 g L⁻¹. Posteriormente, o estaqueamento foi realizado em tubetes de 55 cm³. Os tubetes foram colocados em bandejas, alocadas em canteiro suspenso em casa de vegetação, sob nebulização intermitente, comandado por um controlador digital, conectado a um sensor de temperatura e um sensor de umidade relativa do ar. A irrigação foi acionada quando a temperatura do ar no interior da casa de vegetação ultrapassava 30 °C ou quando a umidade relativa do ar fosse inferior a 80%.

O delineamento experimental foi em DIC, com quatro repetições e quatro miniestacas por repetição. Com 60 dias de permanência em casa de vegetação, foram determinadas as seguintes variáveis: porcentagem de sobrevivência, S (%), por meio da contagem do n° de miniestacas vivas em função do n° estaqueado; porcentagem de enraizamento, E (%), por meio da contagem do n° de miniestacas enraizadas em função do n° de miniestacas vivas; porcentagem de calos, C (%), por meio da contagem do n° de miniestacas com calos em função do n° de miniestacas vivas; número de brotações (NB); número de raízes, contando apenas as raízes emitidas diretamente da base (NRB); e comprimento do sistema radicial (CR, cm) com régua milimetrada.

Posteriormente, as raízes foram colocadas em um scanner modelo Epson Perfection 750 Pro, em uma resolução de 400 pixels. Uma vez digitalizadas, as imagens, foram submetidas ao programa SAFIRA versão 1.1 (JORGE et al., 2010) para quantificação da área superficial das raízes (AS, cm²); e volume radicial (VR, mm³). Para determinação da massa seca da parte aérea das miniestacas (MSPA, g), e massa seca de raízes (MSR, g), o material vegetal foi dividido em parte aérea e raiz, acondicionado separadamente em sacos de papel e colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C por 72 h para atingir a massa constante. Na sequência foi pesado em balança de precisão a MSPA e MSR.

2.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk, para a pressuposição de normalidade, e teste de Bartlett para homocedasticidade. As variáveis MSPA, MSF, A, gs, E e MSR das miniestacas apresentaram os resultados de p-valor abaixo de 0,05, não possuindo sua distribuição normal dos resíduos, o que levou à transformação dos dados com uso da função $Y = \text{raiz}(x + 0,5)$. Para a variável C (%) utilizou-se a função $Y = \text{arco seno}(\text{raiz}(x / 100))$, entretanto, apresentados na versão original. Em seguida os dados foram submetidos à análise de variância e ao verificar diferenças significativas, foi aplicado análise de regressão, a fim de verificar a dose ótima de K para cada variável, por meio da primeira derivada dos estimadores β_0 e β_1 . Para a escolha das equações foi considerada a significância dos parâmetros, teste t, o realismo biológico do fenômeno e o coeficiente de determinação (R^2). Procedeu-se também a análise conjunta dos ensaios para comparação entre ambientes, para isso considerou-se um DIC em esquema fatorial 4 x 4 quando a condição razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo ($>QMR / <QMR$) foi inferior a 7 (sete). Quando isso ocorreu os ambientes foram comparadas pelo teste F a 5%, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5%.

A plasticidade fenotípica é definida como a habilidade de um único genótipo expressar formas alternativas de morfologia, fenológicas, fisiológicas e/ou comportamento em resposta às condições ambientais. O índice de plasticidade fenotípica (IPF) das minicepas de *P. peroba*, com variação de 0 a 1, foi calculado para cada variável que atendeu a condição $>QMR / <QMR$ inferior a sete, como sendo a diferença entre o maior e o menor valor médio entre os tratamentos, dividido pelo maior valor médio. Quanto maior o valor do IP, ou seja, quanto mais próximo de 1, mais plástica é a variável (VALLADARES et al., 2005).

Para a análise simultânea das relações entre as variáveis relacionadas à planta matriz e o enraizamento de miniestacas foi ainda aplicado análise de componentes principais visando uma visão global do fenômeno e evitando o uso informações redundantes e idênticas contidas em duas ou mais variáveis correlacionadas. As análises foram realizadas utilizando-se o programa R Core Team (2018) versão 3.5.0.

3 RESULTADOS

3.1. Efeito do ambiente e do K na produtividade, ecofisiologia e nutrição de minicepas de *P. peroba*

Os resultados da análise de variância individual para as variáveis analisadas em cada ambiente estão apresentados na Tabela 3. Os resultados do teste F evidenciam diferenças significativas no comportamento de minicepas ($p \leq 0,05$) em função das doses de K para as variáveis CT₇₀ no ambiente A2, e MSPA e MSF das minicepas de *P. peroba* no A1. Observa-se ainda, que as variáveis PB, InDC, CT₇₀, MSPA e MSF apresentaram uma relação maior QMR e menor QMR inferior a sete, sendo, portanto, permitindo a comparação entre ambientes.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância das variáveis: produtividade de brotações (PB), incremento em diâmetro do coleto (InDC), clorofila foliar total (CT) aos 30 e 70 dias, densidade estomática (DE), massa de seca da parte aérea (MSPA) e massa seca foliar (MSF) de minicepas de *Paratecoma peroba* submetida a diferentes doses de potássio (KNO₃) em cada ambiente. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

A1								
FV	GL	Quadrados médios						
		PB	InDC	CT ₃₀	CT ₇₀	DE	MSPA	MSF
Doses K	3	22,850 ^{ns}	2,0304 ^{ns}	10,355 ^{ns}	47,056 ^{ns}	193,723 ^{ns}	1,1199 ^{**}	0,7349 ^{**}
Resíduo	16	15,525	0,98818	13,136	16,671	79,306	0,0708	0,092
CV %		23,11	24,15	11,5	23,55	21,6	11,33	23,08
Média		17,05	4,11	28,63	17,33	41,23	-	-
A2								
FV	GL	Quadrados médios						
		PB	InDC	CT ₃₀	CT ₇₀	DE	MSPA	MSF
Doses K	3	17,25 ^{ns}	1,3008 ^{ns}	2,214 ^{ns}	76,174 [*]	90,304 ^{ns}	0,2922 ^{ns}	0,3965 ^{ns}
Resíduo	16	34,55	1,2670	19,744	15,496	48,000	0,48461	0,33335
CV %		23,85	23,24	14,0	11,83	21,3	19,35	22,86
Média		26,05	4,84	27,83	-	32,52	13,32	6,65
A3								
FV	GL	Quadrados médios						
		PB	InDC	CT ₃₀	CT ₇₀	DE	MSPA	MSF
Doses K	3	34,050 ^{ns}	0,71079 ^{ns}	14,159 ^{ns}	16,323 ^{ns}	72,493 ^{ns}	0,2743 ^{ns}	0,194 ^{ns}
Resíduo	16	65,525	1,50988	4,6725	17,545	34,358	0,16656	0,1434

		29,6	24,55	6,55	12,12	19,63	10,42	13,0
Média		28,15	5,00	30,06	34,55	29,86	15,46	8,57
A4								
FV	GL	Quadrados médios						
		PB	InDC	CT ₃₀	CT ₇₀	DE	MSPA	MSF
Doses K	3	18,450 ^{ns}	1,7492 ^{ns}	117,10 ^{ns}	34,197 ^{ns}	236,98 ^{ns}	0,2967 ^{ns}	0,2035 ^{ns}
Resíduo	16	14,325	0,63884	43,877	28,076	143,36	0,20849	0,21087
CV %		34,88	35,8	27,28	15,35	26,64	18,74	23,27
Média		11,15	2,23	35,17	34,52	44,94	6,09	4,04
>QMR / <QMR		4,57	2,36	9,39	1,81	4,17	6,84	4,10

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV%: coeficiente de variação. * e ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Encontra-se na Tabela 4 os resultados das seis variáveis PB, InDC, CT aos 70 dias, MSPA e MSF, submetidas à análise conjunta. Com base nos resultados da análise de variância, verifica-se que houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre os fatores ambientes e doses de K sobre MSPA e MSF, indicando haver interdependência entre os fatores estudados na expressão dessas variáveis. Houve efeito isolado do ambiente e das doses de K para CT₇₀ e para a PB, InDC e DE verificou-se efeito significativo apenas do ambiente.

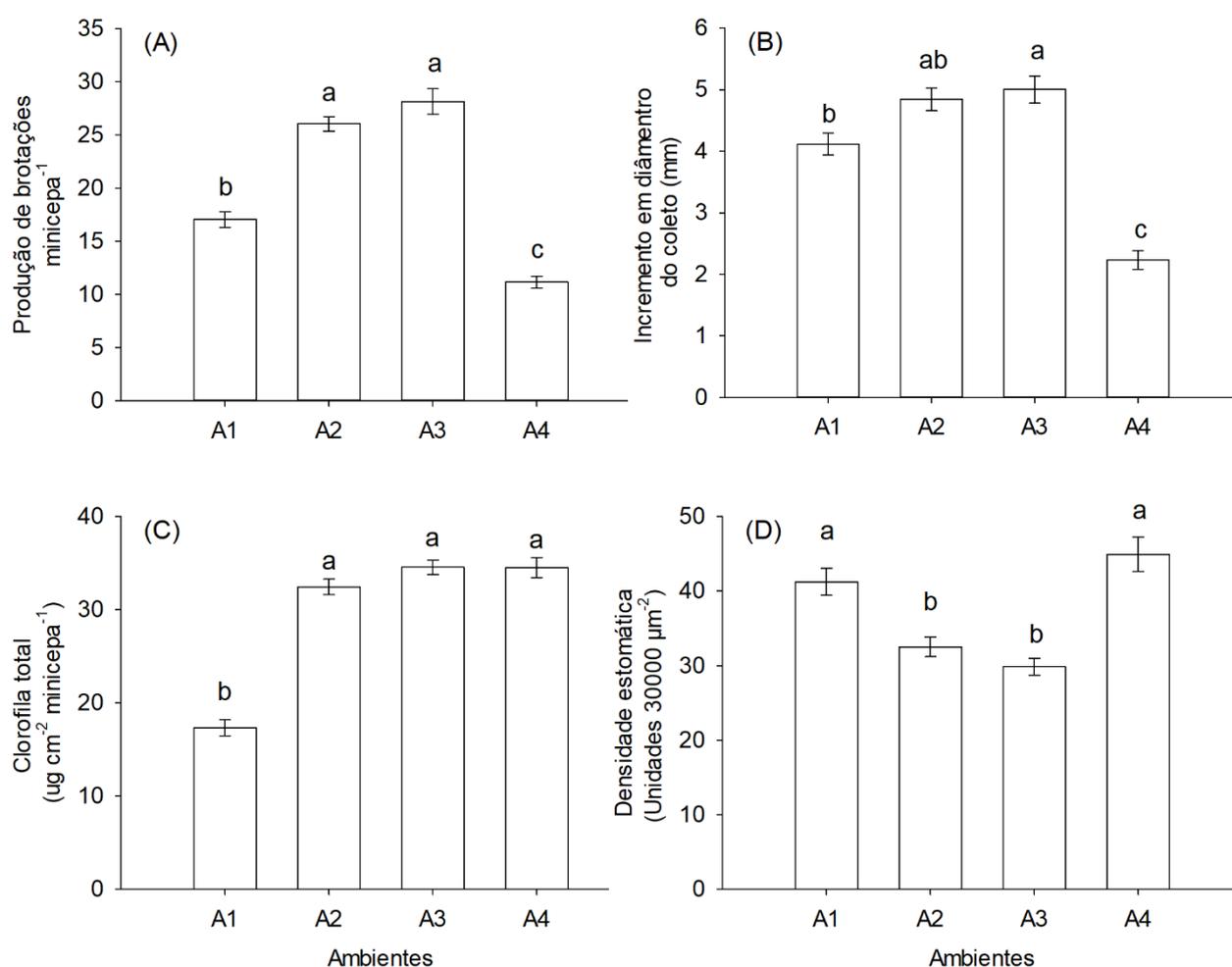
Tabela 4 – Resumo da análise de variância conjunta das variáveis: produtividade de brotações (PB), incremento em diâmetro do coleto (InDC), clorofila foliar total aos 70 dias (CT₇₀), densidade estomática (DE), massa de seca da parte aérea (MSPA) e massa seca foliar (MSF) de minicepas de *Paratecoma peroba* mantidas 70 dias em condições ambientais diversas e adubadas com diferentes doses de potássio (KNO₃). Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

FV	GL	Quadrados médios					
		PB	InDC	CT ₇₀	DE	MSPA	MSF
Ambiente	3	1257,40**	32,318**	1414,73**	1013,18**	12,767**	9,648**
Doses K	3	7,43 ^{ns}	0,288 ^{ns}	77,23*	135,18 ^{ns}	0,0052 ^{ns}	0,0335 ^{ns}
A x K	9	38,34 ^{ns}	1,835 ^{ns}	32,17 ^{ns}	152,86 ^{ns}	0,6593**	0,4985*
Resíduo	64	19,71	1,101	19,45	76,26	0,232	0,1949
CV (%)		21,55	25,91	14,74	23,51	15,69	20,24
Média		-	-	-	-	-	-
IPF		0,74	0,68	0,64	0,73	0,82	0,93

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV%: coeficiente de variação. * e ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. IPF: índice de plasticidade fenotípica.

Minicepas de *P. peroba* alocadas aos ambientes A3 e A2 apresentaram maior PB, com média de 28,15 e 26,05 brotações por minicepas respectivamente (Figura 2A). Os ambientes A3 e A2 proporcionaram maiores InDC das minicepas, com incrementos de 4,84 e 5,00 mm minicepa⁻¹, respectivamente (Figura 2B).

Figura 2 – Produção de brotações (A); incremento em diâmetro do colete (B); concentração de clorofila total aos 70 dias (C); densidade estomática (D) de minicepas de *Paratecoma peroba* mantidas 70 dias em função das condições ambientais. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Letras minúsculas compararam as condições ambientais pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras verticais representam erro padrão da média.

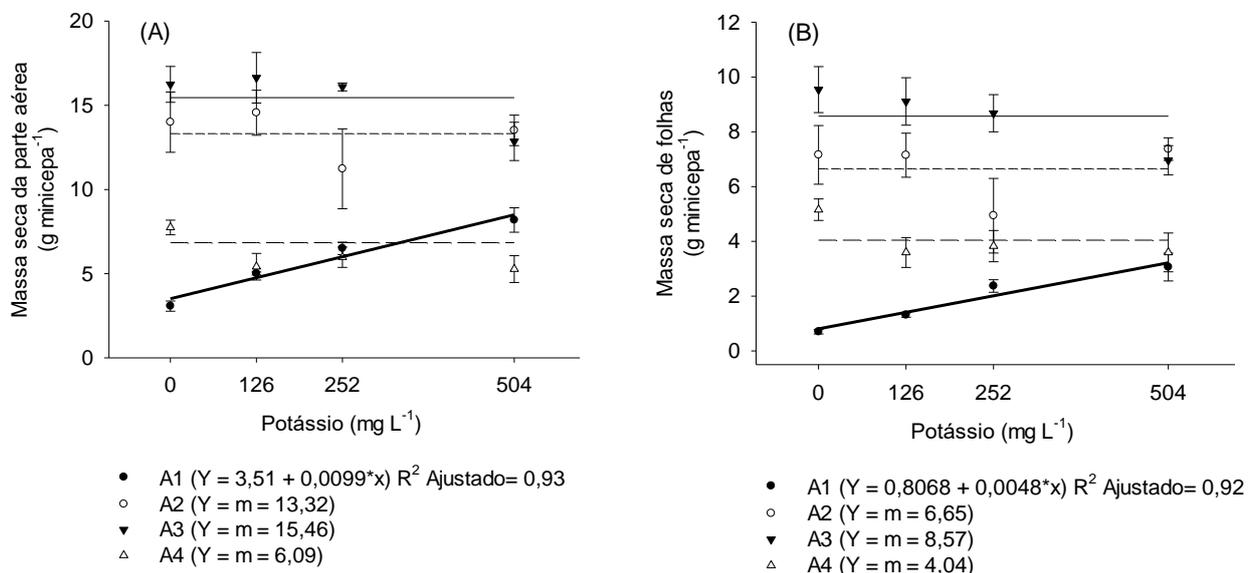


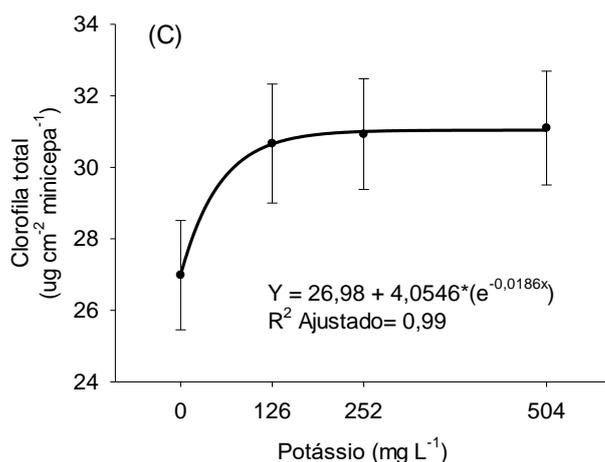
A quantidade de clorofila total das matrizes, medida aos 30 dias, não variou em função dos ambientes e das doses de K (Tabela 3). Contudo, aos 70 dias, foi observado efeito isolado dos fatores, onde as minicepas cultivadas no A1 apresentaram o menor valor de CT₇₀, em média 17,33 ug cm⁻² (Figura 2D). A adição de doses crescentes K promoveram aumento exponencial dos níveis de CF₇₀ das minicepas de *P. peroba*, obtendo uma

tendência de estabilização a partir da dose 126 mg L⁻¹, ponto em que atingiu um teor de clorofila médio de 30,66 ug cm⁻² (Figura 3C). Em relação a DE (Figura 3D), as minicepas dos ambientes A2 e A3 apresentaram menores densidades, com 32,52 e 29,86 estômatos por unidade de área, respectivamente.

A MSPA e MSF foram significativamente influenciados ($p \leq 0,05$) pela interação do ambiente e das doses de K (Tabela 4). As minicepas submetidas aos ambientes A3, A2 e A4 não apresentaram respostas significativas para o aumento das doses de K (Figura 3a, 3b). Foi observado que as minicepas submetidas às condições do ambiente A3 produziram maior MSPA (15,46 g minicepa⁻¹) e MSF (8,57 g minicepa⁻¹). As doses de K favoreceram de forma linear a produção de MSPA e MSF para o ambiente A1, onde os maiores valores de 8,49 e 3,22 g foram obtidos respectivamente na dose 504 mg L⁻¹.

Figura 3 – Massa seca da parte aérea (A); massa seca foliar (B); concentração de clorofila total medido aos 70 dias (C) de minicepas de *Paratecoma peroba* mantidas 70 dias em condições ambientais diversas e adubadas com diferentes doses de potássio (KNO₃). Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Letras minúsculas compararam as condições ambientais pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras verticais representam erro padrão da média.





Em relação às variáveis relacionadas ao metabolismo fisiológico das minicepas de *P. peroba*, verifica-se na Tabela 5 que houve diferenças ($p \leq 0,05$) entre as doses de K para as variáveis *A*, *E* e *Fv/Fm* no ambiente A1. Nas condições ambientais do A2, foram observadas diferenças ($p \leq 0,05$) para *A*, *gs*, *Ci*, *E* e *A/gs*. Minicepas alocadas no A3 apresentaram diferenças ($p \leq 0,05$) apenas para a *A* e *Fv/Fm*, enquanto que minicepas do ambiente A4 não foram influenciadas significativamente ($p > 0,05$) pelas doses de K.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância das variáveis: fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO_2 (*Ci*), transpiração (*E*), eficiência intrínseca do uso da água (*A/gs*) e eficiência quântica do fotossistema II (*Fv/Fm*) de minicepas de *Paratecoma peroba* submetida por 70 dias a diferentes doses de potássio (KNO_3) em cada ambiente. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

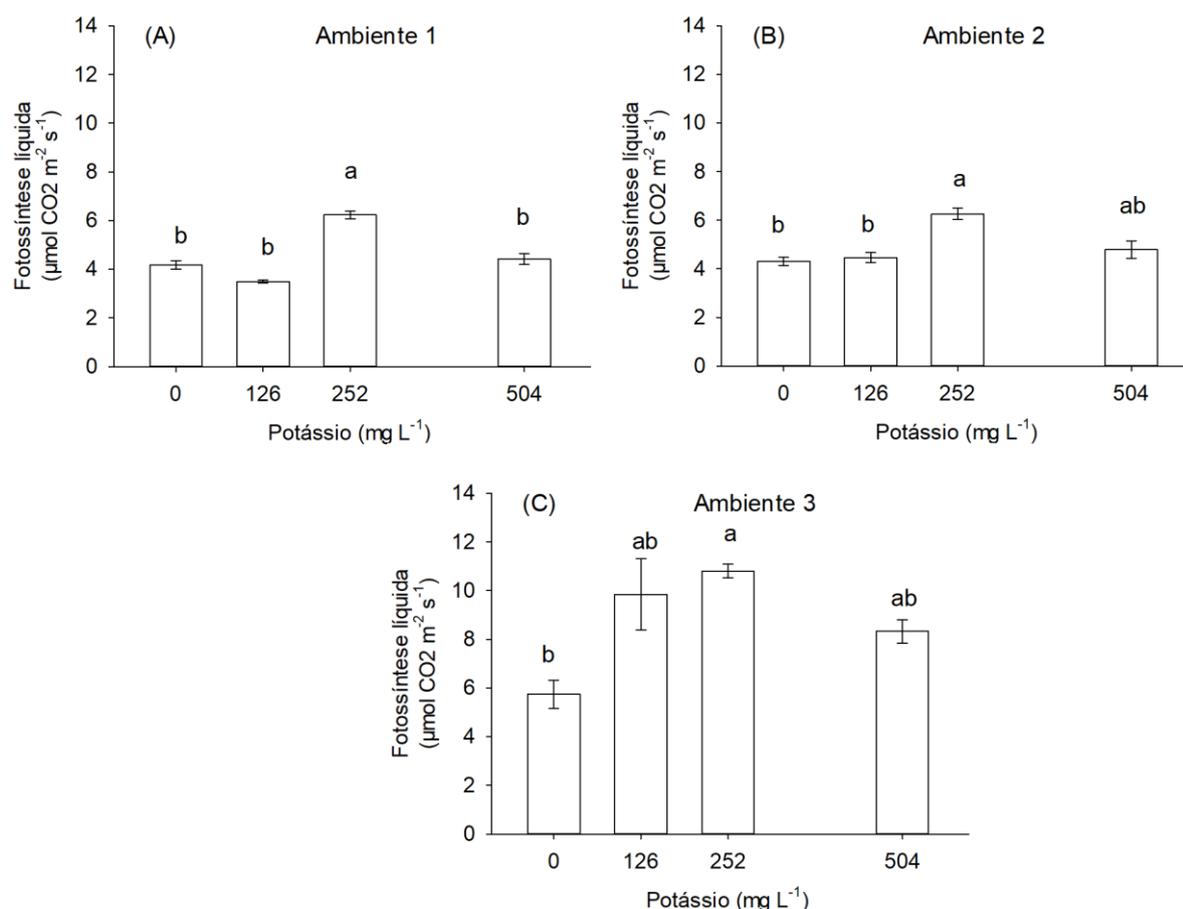
A1							
FV	GL	Quadrados médios					
		A	gs	Ci	E	A/gs	Fv/Fm
Doses K	3	0,31754**	0,00147 ^{ns}	331,46 ^{ns}	0,089972*	163,83 ^{ns}	0,005472**
Resíduo	16	0,01748	0,000645	642,06	0,017962	275,19	0,0003525
CV %		5,9	3,33	9,01	9,35	27,86	2,77
Média		-	0,084	281,28	-	59,53	-
A2							
FV	GL	Quadrados médios					
		A	gs	Ci	E	A/gs	Fv/Fm
Doses K	3	0,178443*	0,00288**	15262,5**	0,176526**	6588,2**	0,004445 ^{ns}
Resíduo	16	0,054602	0,000466	2298,7	0,015422	969,6	0,0027775
CV %		10,06	2,91	15,79	9,03	25,81	7,45
Média		-	-	-	-	-	0,71

A3							
FV	GL	Quadrados médios					
		A	gs	Ci	E	A/gs	Fv/Fm
Doses K	3	0,7146**	0,000219 ^{ns}	2037,1 ^{ns}	0,074753 ^{ns}	948,67 ^{ns}	0,003418*
Resíduo	16	0,12572	0,0002327	2745,3	0,046460	1215,61	0,0009375
CV %		11,83	2,06	12,48	15,46	16,82	4,32
Média		-	0,046	-	1,49	207,22	-
A4							
FV	GL	Quadrados médios					
		A	gs	Ci	E	A/gs	Fv/Fm
Doses K	3	0,50426 ^{ns}	0,001195 ^{ns}	2002,4 ^{ns}	0,060565 ^{ns}	978,81 ^{ns}	0,00022 ^{ns}
Resíduo	16	0,1565	0,0007596	1910,5	0,02925	838,30	0,001572
CV %		15,12	3,66	22,88	10,94	26,31	5,17
Média		6,35	0,068	191,06	1,97	110,06	0,76
>QMR / <QMR		15,84	3,26	4,27	3,01	4,41	7,87

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV%: coeficiente de variação. * e ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

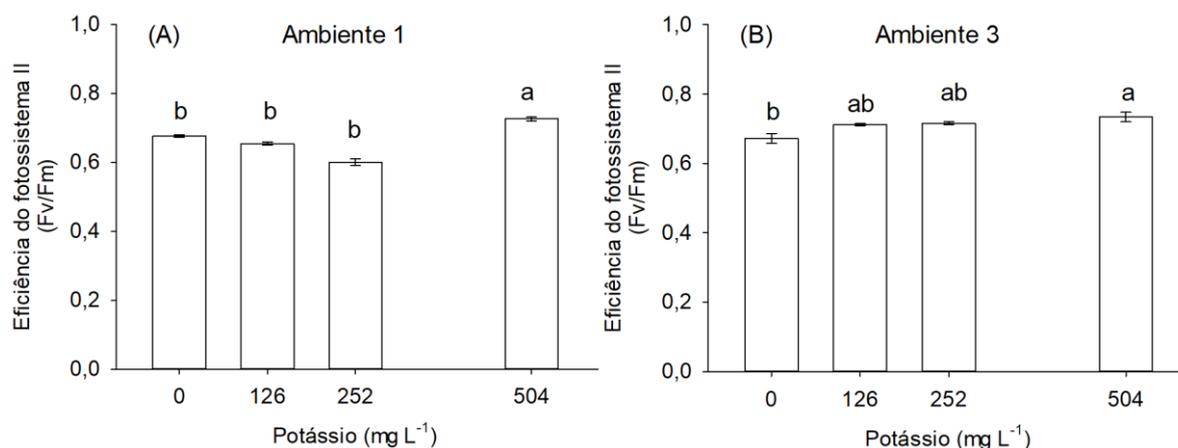
Não houve ajuste aos modelos de regressão testados para analisar o efeito das doses de K sobre A, optando-se por teste de médias. A maior A foi encontrada no ambiente A3 nas doses 126, 252 e 504 mg L⁻¹ com 9,85, 10,81 e 8,33 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente (Figura 4C). As minicepas de *P. peroba* submetidas ao ambiente A1 apresentaram o maior A, de 6,23 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, quando aplicados K na dose 252 mg L⁻¹ (Figura 4A). No A2, estas apresentaram melhor desempenho fotossintético nas doses 252 e 504 mg L⁻¹, com 6,26 e 4,79 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ respectivamente (Figura 4B). Não houve efeito significativos das doses de K na A das minicepas no ambiente A4, apresentando média 6,35 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ (Tabela 4).

Figura 4 – Fotossíntese líquida no ambiente 1 (A); ambiente 2 (B); no ambiente A3 (C) de minicepas de *Paratecoma peroba* mantidas 70 dias em diferentes em condições ambientais. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Letras minúsculas compararam as condições ambientais pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras verticais representam erro padrão da média.



A dose de 504 mg L^{-1} favoreceu o aumento significativo da Fv/Fm das minicepas nos ambientes A1 e A3 apresentando os valores máximos de 0,72 e 0,73 respectivamente (Figura 5). O tratamento testemunha apresentou o valor de 0,67 para a Fv/Fm em ambos os ambientes. Não houve efeito significativo das doses de K para as minicepas alocadas nos ambientes A2 e A4, apresentando valores médios de 0,71 e 0,76 respectivamente (Tabela 5).

Figura 5 – Eficiência do fotossistema II no ambiente 1 (A); e no ambiente 3 (B) de minicepas de *Paratecoma peroba* mantidas por 70 dias em função das doses de potássio (KNO_3). Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Letras minúsculas compararam as condições ambientais pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras verticais representam erro padrão da média.



Os resultados da análise de variância conjunta para as variáveis fisiológicas estão apresentados na Tabela 6. Houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) dos fatores ambientes e dose de K sobre as variáveis g_s , C_i , E e A/g_s das minicepas de forma isolada.

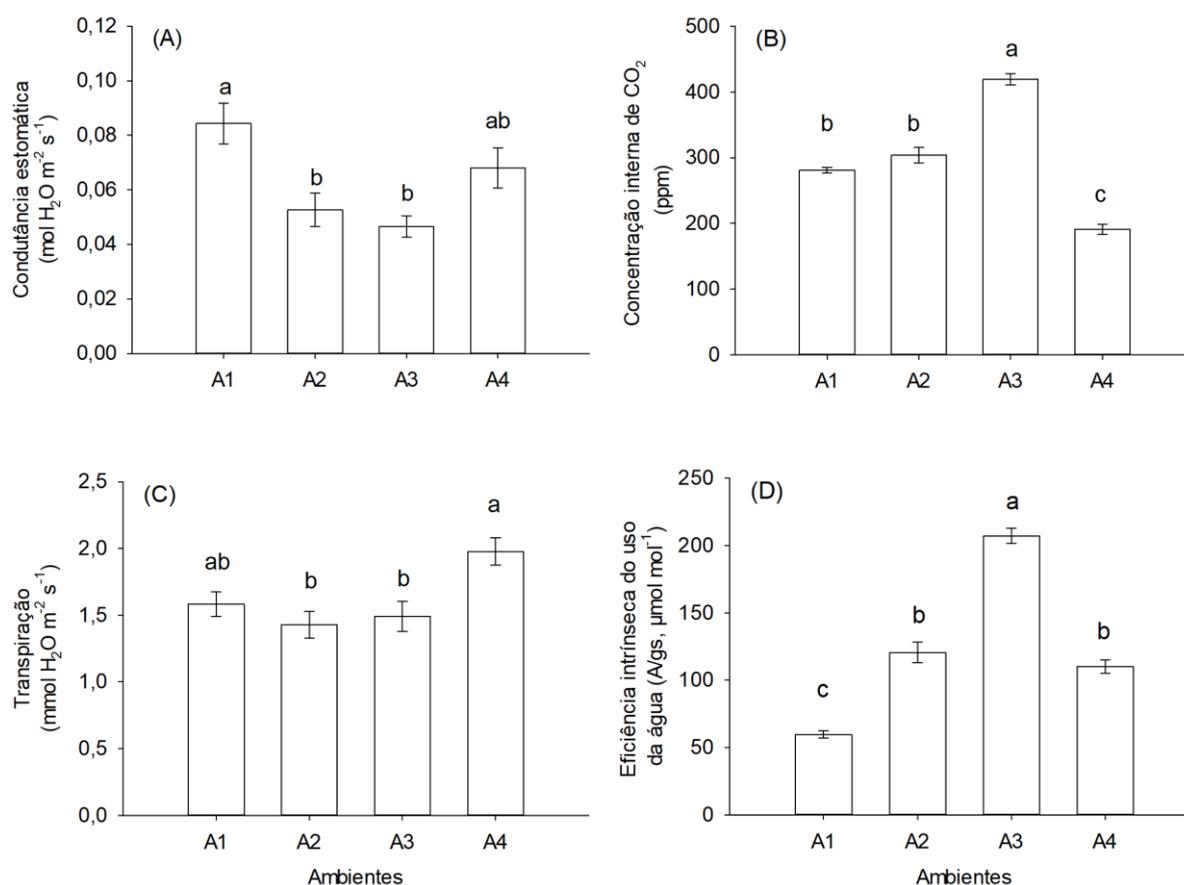
Tabela 6 – Resumo da análise de variância conjunta das variáveis: condutância estomática (g_s), concentração interna de CO₂ (C_i), transpiração (E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) de minicepas de *Paratecoma peroba* submetidas por 70 dias em ambientes distintos e diferentes doses de potássio (KNO₃). Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

FV	GL	Quadrados médios			
		g_s	C_i	E	A/g_s
Ambiente	3	0,002483**	176992**	0,144813**	75250**
Doses K	3	0,002608**	9225**	0,278682**	4005**
A x K	9	0,001053 ^{ns}	3469 ^{ns}	0,041045 ^{ns}	1558 ^{ns}
Resíduo	64	0,0005261	1899	0,027275	825
CV (%)		3,06	14,58	11,46	23,09
Média		-	-	-	-
IPF		0,07	0,62	0,67	0,76

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV%: coeficiente de variação. * e ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. IPF: índice de plasticidade fenotípica.

A g_s das minicepas de *P. peroba* foi maior nos ambientes A1 e A4 (Figura 6A). Verifica-se ainda que, minicepas fertirrigadas com a dose 252 mg L⁻¹ apresentaram desempenho superior em relação a g_s , quando comparadas ao tratamento testemunha (Figura 7A).

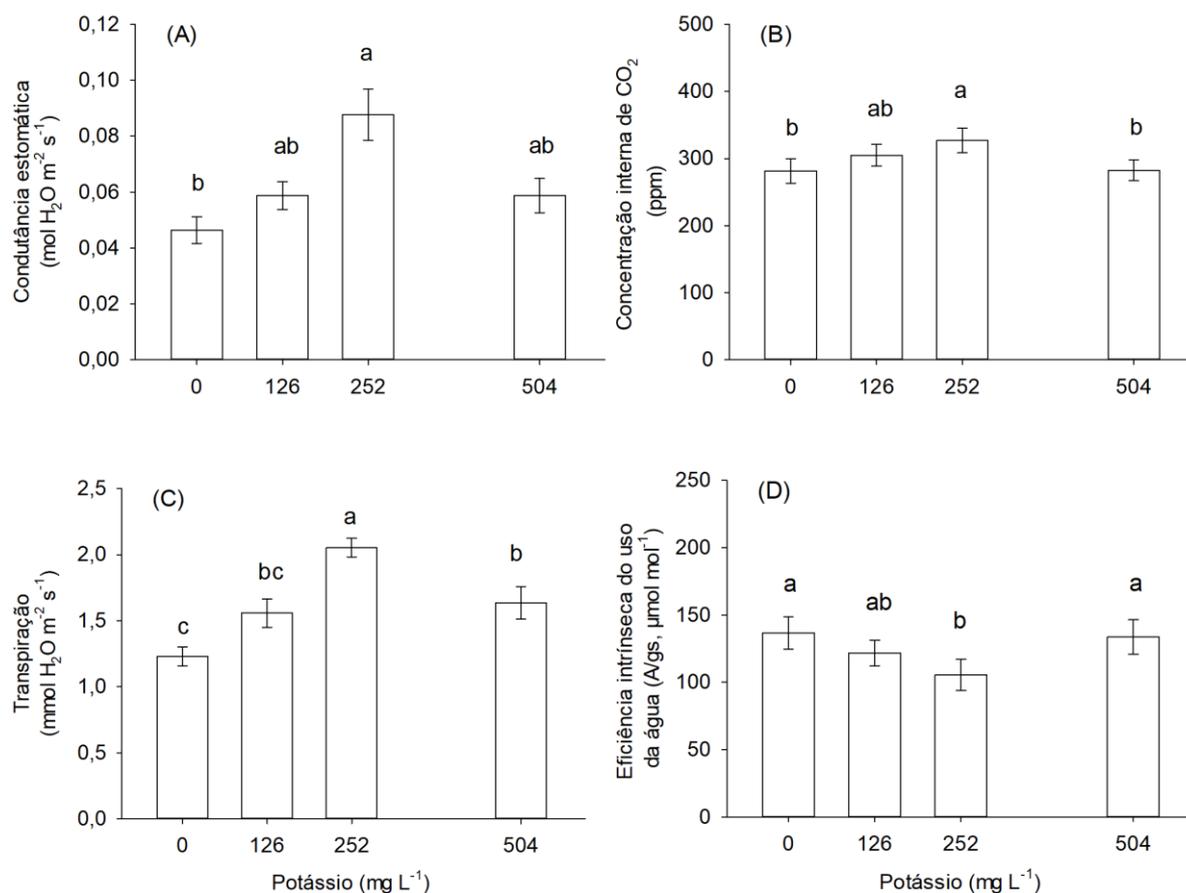
Figura 6 – Condutância estomática (A); concentração interna de CO₂ (B); transpiração (C); eficiência intrínseca do uso da água (D) de minicepas de *Paratecoma peroba* submetidas por 70 dias em função das condições ambientais. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Letras minúsculas compararam as condições ambientais pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras verticais representam erro padrão da média.



A C_i máxima de 419,67 ppm foi encontrada no ambiente A3 (Figura 6B). As minicepas submetidas à dose 252 mg L⁻¹ apresentaram uma maior C_i , 326,81 ppm (Figura 7B). Minicepas alocadas no ambiente A4 apresentaram maior E , 1,97 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (Figura 6C). Em relação as doses de K, a E nas minicepas seguiu a mesma tendência apresentada para g_s e C_i , o onde o valor máximo (2,05 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) foi obtido na dose 252 mg L⁻¹ (Figura 7C). Para a A/g_s , o A3 foi o ambiente que proporcionou o maior, 207,22 μmol mol⁻¹ (Figura 6D), todavia, a dose 252 mg L⁻¹ proporcionou a menor desempenho da A/g_s , 105,43 μmol mol⁻¹ (Figura 7D).

Figura 7 – Condutância estomática (A); concentração interna de CO₂ (B); transpiração (C); eficiência intrínseca do uso da água (D) de minicepas de *Paratecoma peroba* submetida a diferentes doses de potássio (KNO₃). Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

Letras minúsculas compararam as condições ambientais pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras verticais representam erro padrão da média.



A análise do estado nutricional das minicepas de *P. peroba* por meio da avaliação do DRIS está descrita na Tabela 7. De modo geral, os teores de nutrientes presentes na MSF das minicepas apresentaram a seguinte ordem de absorção $N > K > Ca > P > Mg > S$. Houve variação dos índices DRIS em função principalmente dos ambientes, onde minicepas dos ambientes A2 e A3 apresentaram índices mais próximos de zero.

Tabela 7 – Teores médios de nutrientes (TN) na massa seca foliar, índice DRIS (ID), índice de balanço nutricional médio (IBNm) e faixas ótimas geradas a partir das normas DRIS para minicepas de *Paratecoma peroba* em função do ambiente e adubação com potássio (KNO₃). Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

A1								
K	N	P	K	Ca	Mg	S	IBNm	
mg L ⁻¹	g kg ⁻¹							
0	TN	31,64	19,05	35,63	13,63	4,69	2,3	24,03

	ID	-2,87	15,36	29,34	-30,12	-39,11	27,40		
126	TN	32,41	15,7	30,00	14,73	5,06	1,49	11,80	
	ID	5,39	7,36	22,66	-16,86	-14,42	-4,13		
252	TN	29,89	16,27	28,75	19,57	5,25	2,19	12,18	
	ID	-6,72	4,75	12,66	-6,35	-23,47	19,13		
504	TN	27,93	17,54	32,5	14,78	5,13	2,09	17,92	
	ID	-9,27	11,03	23,91	-20,98	-23,51	18,82		
A2									
K		N	P	K	Ca	Mg	S	IBNm	
mg L ⁻¹		----- g kg ⁻¹ -----							
0	TN	23,87	14,66	22,5	10,53	5,69	1,58	12,11	
	ID	-6,14	12,79	11,56	-30,19	4,4	7,58		
126	TN	24,15	12,91	22,5	21,61	5,31	1,3	5,91	
	ID	-7,93	1,5	8,95	7,28	-1,73	-8,06		
252	TN	24,85	15,16	23,75	18,32	5,13	1,39	6,6	
	ID	-7,15	9,8	10	-1,57	-6,83	-4,26		
504	TN	23,45	16,27	25	20,77	5,88	1,49	6,97	
	ID	-15,4	10,11	9,23	1,57	-1,11	-4,4		
A3									
K		N	P	K	Ca	Mg	S	IBNm	
mg L ⁻¹		----- g kg ⁻¹ -----							
0	TN	31,64	14,19	19,38	25,16	6,56	1,49	5,07	
	ID	0,43	1,99	-6,63	8,31	4,47	-8,57		
126	TN	31,43	12,91	16,88	20,37	6,38	1,68	3,84	
	ID	2,75	0,74	-11,53	1,1	4,2	2,75		
252	TN	30,73	11,47	21,25	20,82	4,75	1,3	6,81	
	ID	7,44	-3,79	7,2	5,8	-9,87	-6,78		
504	TN	32,2	9,96	17,5	20,07	6,56	1,98	7,73	
	ID	3,69	-15,47	-7,73	0,57	5,14	13,8		
A4									
K		N	P	K	Ca	Mg	S	IBNm	
mg L ⁻¹		----- g kg ⁻¹ -----							
0	TN	50,12	10,24	19,38	31	4,94	1,49	18,72	

	ID	34,94	-19,3	-5,7	21,22	-22,02	-9,14	
126	TN	39,06	7,79	15	28,65	6,19	1,88	17,41
	ID	17,63	-34,76	-17,47	20,69	2,25	11,66	
252	TN	47,39	7,58	18,13	26,36	3,8	1,3	24,01
	ID	47,06	-31,75	2,43	22,54	-33,74	-6,53	
504	TN	54,46	7,79	17,5	26,01	5,13	1,39	22,05
	ID	50,65	-35,92	-5,83	15,5	-12,63	-11,76	

3.2. Efeito do ambiente e do K da minicepas no enraizamento de miniestacas de *P. peroba*

O efeito residual da aplicação de doses de K sobre o enraizamento e qualidade do sistema radicular das miniestacas de *P. peroba* está apresentada na Tabela 8. Verifica-se que houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as doses de K apenas para a variável CR no ambiente A1.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância das variáveis: porcentagem de enraizamento (E%), índice de produtividade (IP), porcentagem de calos (C%); comprimento radicular (CR), número de raízes (NR), massa seca raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPAm) miniestacas de *Paratecoma peroba* aos 60 dias após o estaqueamento em função de doses de potássio (KNO_3) aplicadas em minicepas em quatro condições ambientais. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

A1								
FV	GL	Quadrados médios						
		E (%)	IP	C (%)	CR	NR	MSR	MSPAm
Doses K	3	422,45 ^{ns}	2,0503 ^{ns}	0,01651 ^{ns}	13,7531*	2,8304 ^{ns}	0,00061 ^{ns}	0,01375 ^{ns}
Resíduo	12	506,37	2,6683	0,19272	2,5021	1,5642	0,000265	0,01215
CV %		33,23	32,76	37,79	16,81	36,94	2,18	40,89
Média		67,71	4,99	25	-	3,39	0,06	0,27
A2								
FV	GL	Quadrados médios						
		E (%)	IP	C (%)	CR	NR	MSR	MSPAm
Doses K	3	351,56 ^{ns}	6,2061 ^{ns}	0,0285 ^{ns}	2,9945 ^{ns}	0,44141 ^{ns}	0,00030 ^{ns}	0,00604 ^{ns}
Resíduo	12	221,35	2,6230	0,11708	2,2986	2,0273	0,000406	0,005382
CV %		16,71	16,97	29,88	15,88	40,14	2,64	20,94
Média		89,06	9,55	23,44	9,54	3,55	0,08	0,35

A3

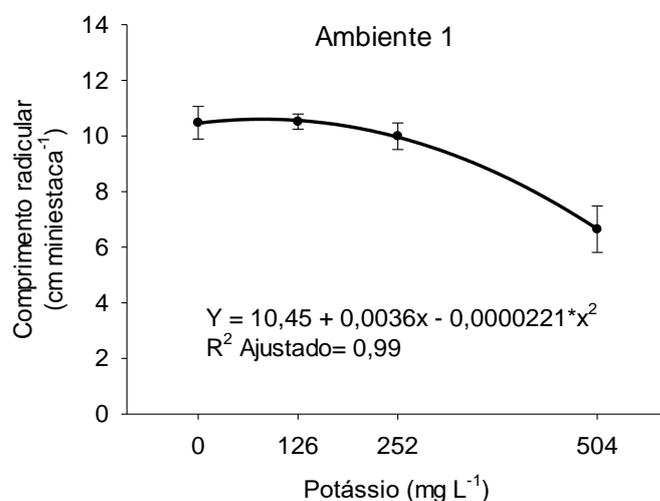
FV	GL	Quadrados médios						
		E (%)	IP	C (%)	CR	NR	MSR	MSPAm
Doses K	3	746,53 ^{ns}	18,261 ^{ns}	0,04277 ^{ns}	1,8652 ^{ns}	1,3565 ^{ns}	0,00203 ^{ns}	0,0559 ^{ns}
Resíduo	12	1085,07	15,219	0,09408	7,7064	1,6736	0,000618	0,01785
CV %		47,2	46,64	23,61	30,18	40,32	3,21	34,61
Média		69,79	8,36	13,54	9,20	3,21	0,10	0,39

A4								
FV	GL	Quadrados médios						
		E (%)	IP	C (%)	CR	NR	MSR	MSPAm
Doses K	3	804,40 ^{ns}	3,4182 ^{ns}	0,4473 ^{ns}	1,5147 ^{ns}	3,8958 ^{ns}	0,00566 ^{ns}	0,00023 ^{ns}
Resíduo	12	434,03	0,8526	0,2027	0,63598	1,8912	0,00291	0,02677
CV %		28,17	26,53	52,26	6,97	29,08	6,55	23,95
Média		73,95	3,48	45,83	11,44	4,73	0,18	0,68
>QMR / <QMR		4,90	17,85	2,15	12,11	1,29	10,98	4,97

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV%: coeficiente de variação. * e ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A adubação de K nas minicepas do ambiente A1 na dose estimada 81,44 mg L⁻¹ proporcionou miniestacas com máximo valor de CR de 10,59 cm miniestaca⁻¹ (Figura 8). A partir desta dose, o aumento das doses de K aplicadas nas minicepas reduziu o CR das miniestacas.

Figura 8 – Comprimento radicular de miniestacas de *Paratecoma peroba* em função de doses de potássio (KNO₃) aplicada nas minicepas no ambiente 1. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Letras minúsculas compararam as condições ambientais pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05). Barras verticais representam erro padrão da média.



De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 9), verifica-se que não houve influência ($p > 0,05$) das condições ambientais e nutricionais a que foram submetidas as minicepas sobre a E (%) das miniestacas, apresentando média superior a 75%. Para as variáveis C (%), NR e MSPAm, houve efeito ($p \leq 0,05$) apenas do ambiente.

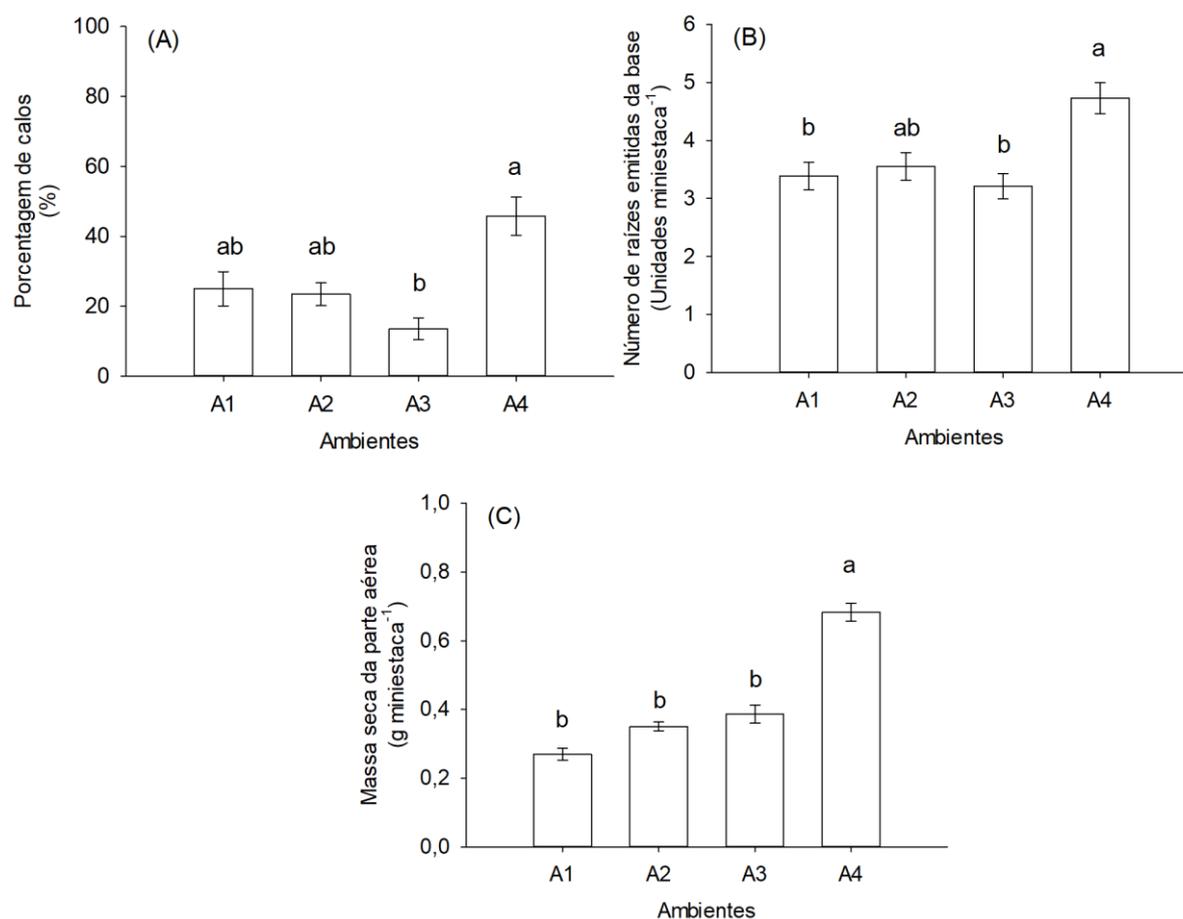
Tabela 9 – Resumo da análise de variância conjunta das variáveis: porcentagem de enraizamento (E %), porcentagem de calos (C %) número de raízes (NR) e massa seca da parte aérea (MSPAm) de miniestacas de *Paratecoma peroba* aos 60 dias. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

FV	GL	Quadrados médios			
		E (%)	C (%)	NR	MSPAm
Ambiente	3	1488,35 ^{ns}	2946,69 ^{**}	7,5846 ^{**}	0,52176 ^{**}
Doses K	3	513,24 ^{ns}	1028,28 ^{ns}	0,516 ^{ns}	0,00783 ^{ns}
A x K	9	603,90 ^{ns}	362,77 ^{ns}	2,6694 ^{ns}	0,02273 ^{ns}
Resíduo	48	561,70	614,51	1,7891	0,0155
CV (%)		31,55	91,97	35,98	29,52
Média		75,13	-	-	-

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV%: coeficiente de variação. * e ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

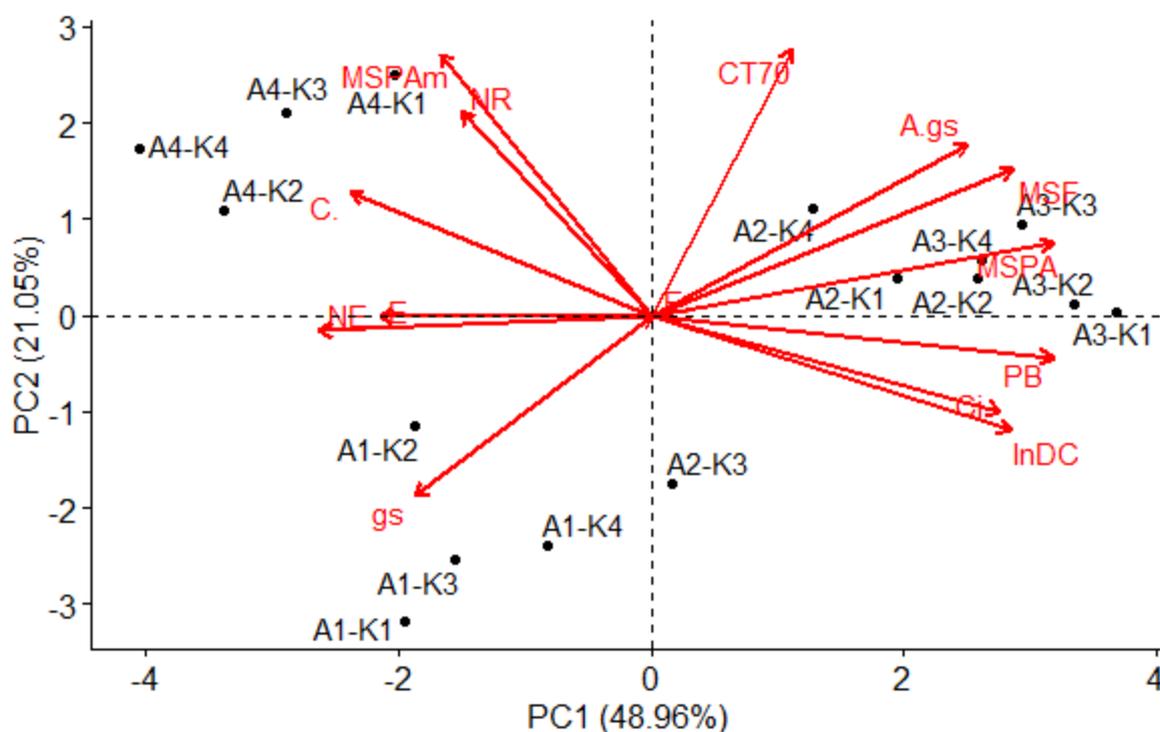
As minicepas alocadas no ambiente A4 produziram miniestacas com maior C (%) e MSPAm (Figura 9A; 9C). Desempenho similar ao observado para NR, onde miniestacas obtidas em minicepas submetidas às condições dos ambientes A3 diferiram ($p > 0,05$) das obtidas em minicepas dos ambientes A1 e A3 (Figura 9b).

Figura 9 – Porcentagem de calos (A); Número de raízes emitidas da base da miniestaca (B); massa seca da parte aérea (C) de miniestacas de *Paratecoma peroba* em função das condições ambientais da minicepas. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020. Letras minúsculas compararam as condições ambientais pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras verticais representam erro padrão da média.



As relações entre as variáveis de produção, morfológica e fisiológica das minicepas e de enraizamento miniestacas de *P. peroba*, que apresentaram a condição >QMR / <QMR inferior a 7 (sete) podem ser visualizadas na Figura 10. A variabilidade dos dados foi explicada em 48,96% no eixo 1 e 21,05% no eixo 2, totalizando 70,01% da variabilidade total dos dados. As variáveis PB, InDC, MSPA, MSF, *Ci* e *A/gs* estão agrupadas sendo intuitivamente correlacionadas. Os tratamentos referentes ao ambiente A3 e A2 com exceção da dose 252 mg L⁻¹ determinaram altos valores para estas variáveis. É possível observar ainda que, as variáveis foram divididas em outros dois grupos de resposta, o primeiro englobando os tratamentos referentes ao ambiente A4, as quais estão influenciaram as variáveis relacionadas ao enraizamento de miniestacas, C (%), NR e MSPAm, e outro grupo relacionado ao ambiente A4, que influenciou maiores valores de *gs*.

Figura 10 – Biplot com as projeções das variáveis relacionadas à produção, morfologia e fisiologia de minicepas e enraizamento de *Paratecoma peroba* em função das condições ambientais e doses de potássio (KNO₃). Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.



A MSPA e a produtividade de brotos (PB) apresentaram maiores correlação ($r = 0,993$; $r = 0,946$) com o primeiro componente principal, sendo as variáveis que melhor descrevem o efeito dos tratamentos (Tabela 10). Para o segundo componente principal foram observadas que maiores correlações com CT_{70} e MSPAm.

Tabela 10 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os escores dos componentes principais e as variáveis produção, morfológica e fisiológica das minicepas e de enraizamento miniestacas de *Paratecoma peroba*. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, 2020.

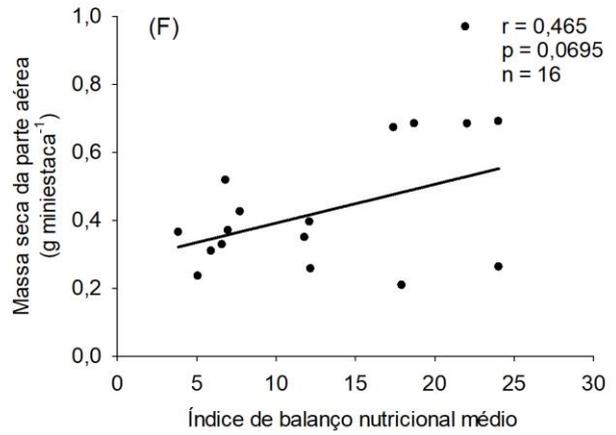
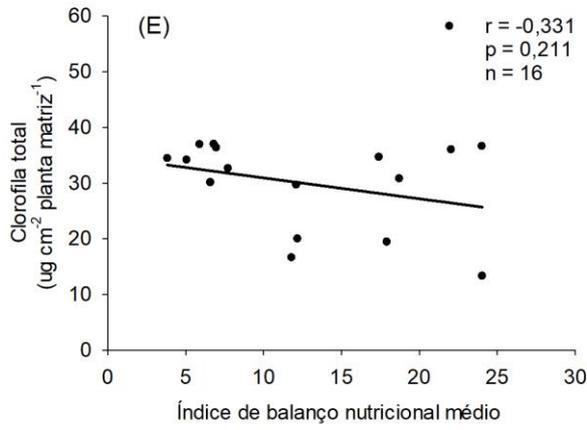
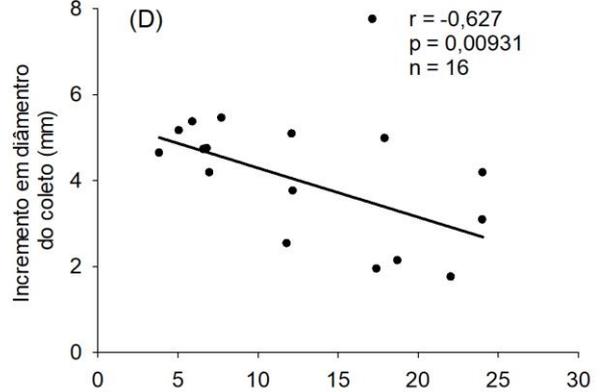
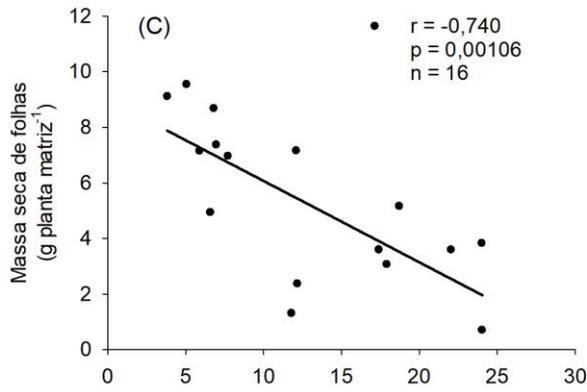
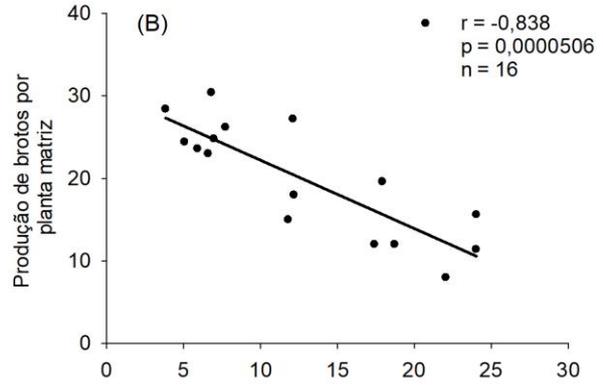
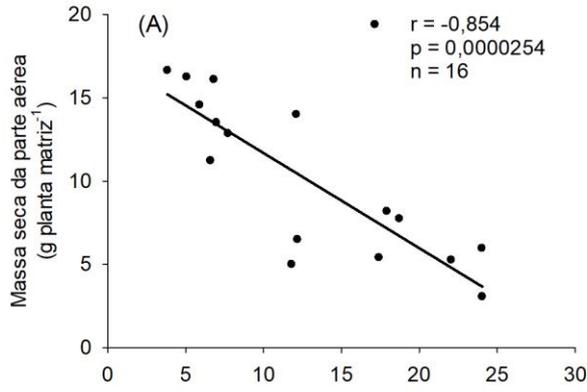
Variáveis	CP1	CP2
PB	0,946	-0,129
InDC	0,847	-0,356
CT_{70}	0,331	0,820
DE	-0,781	-0,048
MSPA	0,949	0,222
MSF	0,854	0,456
gs	-0,554	-0,556
Ci	0,819	-0,295
E	-0,638	-0,003

A/gs	0,745	0,529
E%	0,0054	0,004
C%	-0,707	0,379
NR	-0,447	0,629
MSPAm	-0,493	0,807

CP: Componentes principais; PB: produtividade de brotações; InDC) incremento em diâmetro do coleto; CT₇₀: clorofila foliar total aos 70 dias, DE: densidade estomática; MSPA: massa de seca da parte aérea; MSF: massa seca foliar; gs: condutância estomática; Ci: concentração interna de CO₂; E: transpiração; A/gs: eficiência intrínseca do uso da água; E%: porcentagem de enraizamento; C%: porcentagem de calos; NR: número de raízes e; MSPAm: massa seca da parte área de miniesacas de *Paratecoma peroba*.

Os resultados da análise correlação entre o IBNm e as variáveis MSPA, PB, MSF, InDC, CT₇₀ e MPAm, que foram as variáveis que mais se correlacionaram com os componentes principais 1 e 2 são apresentados na Figura 11. O IBNm apresentou forte correlação negativa com a MSPA e PB, e moderada com MSF e InDC. O estado nutricional das minicepas não apresentou nenhuma relação com CT₇₀ e MSPAm enraizadas.

Figura 11 – Relação entre o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm) e massa seca da parte aérea (A); produção de brotos por minicepa (B); massa seca de folhas (C); incremento em diâmetro do coleto (D); clorofila total aos 70 dias (E) de minicepas; e massa seca da parte aérea (F) miniestacas de *Paratecoma peroba* em função das condições ambientais e doses de potássio.



4 DISCUSSÃO

4.1. Efeito do ambiente e do K na produtividade, ecofisiologia e nutrição de minicepas de *P. peroba*

A primeira hipótese testada foi validada, as condições ambientais e a adubação mineral de K influenciaram a produtividade, ecofisiologia e nutrição de minicepas de *P. peroba*. Em relação às variáveis relacionadas à produtividade e morfologia, as condições ambientais representam ser o fator mais dominante, onde os ambientes com temperaturas mais altas, menor umidade do ar, DPV maior e CO₂ atmosféricos maiores como A2 e A3 proporcionaram melhor desempenho das minicepas em relação às variáveis PB e InDC (Figura 2A; 2B).

Minicepas não se adaptaram ao ambiente A1, onde a umidade foi alta (UR ≥ 85%), não demonstrando todo o seu potencial vegetativo. Neste ambiente foi observado menor concentração de CT₇₀ (17,33 ug cm⁻²) (Figura 2D), entre todos os ambientes, e uma redução em relação a CT₃₀ (28,63 ug cm⁻²) (Tabela 3). Segundo Ling et al. (2011) e Bandarra et al. (2019), a concentração de clorofila foliar é um indicador positivo da saúde fotossintética das plantas, além de um caráter indireto da função e desenvolvimento do cloroplasto e do teor de N. A importância do K⁺ em plantas está bem documentada (BOURNE et al., 1988; OOSTERHUIS et al., 2014; LARBI et al., 2020), e sua deficiência causa severa redução da fotossíntese e do crescimento e degradação oxidativa da clorofila por excesso de produção de espécies reativas de oxigênio (DU et al., 2019). No entanto, ao observar os teores foliares de K das minicepas alocadas no ambiente A1, juntamente com seus respectivos índices DRIS (Tabela 7), verifica-se que não houve deficiência deste nutriente, assim, uma das explicações para a menor concentração de CT seria a deficiência de magnésio (Mg) cujos índices DRIS foram excessivamente baixos em comparação aos outros ambientes. O Mg é um elemento central da molécula de clorofila e desempenha papéis importantes em vários processos fisiológicos e bioquímicos, como ativação de mais 300 enzimas (YE et al., 2019).

Além disso, foi constatado visualmente que minicepas do ambiente A1 apresentaram coloração de folhas amareladas somada à acentuada senescência. Segundo Savchenko et al. (2002), um dos sintomas típicos do estresse térmico é a senescência tecidual, caracterizada por dano à membrana associado ao aumento da fluidez dos lipídios da membrana, peroxidação lipídica e degradação de proteínas. O estresse térmico é composto

por outros estresses abióticos adicionais como umidade e salinidade e que em tal condição alguns hormônios essenciais, incluindo ácido abscísico, ácido salicílico e etileno, também aumentam seus níveis (BITA; GERATS, 2013), o que pode ter contribuído para abscisão foliar. Apesar disso, as doses crescentes de K foram importantes para a produção e manutenção da biomassa da parte aérea das minicepas nesse ambiente, constatado pela MSPA e MSF (Figura 3A; B).

O K também foi efetivo na melhoria do metabolismo fisiológico das minicepas, onde verificou-se que a aplicação da 252 mg L^{-1} promoveu ganhos na atividade fotossintética nos ambientes A1 e A2 (Figura 4), e de modo geral, em todos ambientes para g_s , C_i e E (Figura 7A; B; C). As doses crescentes de K foram eficientes apenas para aumentar a CT_{70} , quando comparadas ao tratamento testemunha (Figura 2C).

Quanto às condições atmosféricas, a queda da g_s das minicepas alocadas nos ambientes A2 e A3 corrobora com menores valores de E (Figura 6A; C), o que pode estar relacionado ao maior DPV (Tabela 2). Este comportamento está em consonância com a literatura, uma vez que vários autores afirmam que em ambientes com alta demanda evaporativa da atmosfera, existe maior tendência de perda água pelas plantas, o que resulta no fechamento dos estômatos para evitar a perda excessiva de água por transpiração (COSTA; MARENCO, 2007; RODRIGUES et al., 2011; TAIZ et al., 2017; HSIAO et al., 2019). Assim, as minicepas de *P. peroba* apresentaram mecanismos de ajustes de controle de g_s e E à níveis compatíveis com as condições ambientais. Uma característica anatômica que apoia a hipótese de que a espécie apresenta estratégias de adaptação às condições de alto DPV e/ou CO_2 , foi a menor DE em folhas das minicepas nesses ambientes (Figura 2d). Tais resultados sugerem que a *P. peroba* exibe uma alta plasticidade potencial de ajuste às variações ambientais, apresentando IPF médio acima 0,6 para a maioria das variáveis analisadas (Tabela 4; Tabela 6).

Engineer et al. (2016) ressalta ainda que embora a diminuição da g_s seja benéfica para limitar a perda de água das folhas por E , menos estômatos por unidade de área foliar e estômatos mais fechados em respostas a níveis elevados de CO_2 também reduzem a capacidade de resfriamento das folhas, o que, por sua vez, aumenta o estresse térmico das folhas. Contudo, tais condições não influenciaram negativamente a assimilação de carbono e produção de biomassa das minicepas nos ambientes A2 e A3.

Uma das formas de analisar os efeitos não estomáticos do processo fotossintético é pela avaliação do rendimento quântico máximo do fotossistema II, por meio da razão F_v/F_m (BAKER, 2008; FIGUEREDO et al., 2014). A F_v/F_m , refere-se à capacidade de

transferência da energia de excitação, e expressa a eficiência de captura desta energia pelos centros de reação abertos (MELO et al., 2010). A análise da relação F_v/F_m é uma medida valiosa para avaliar o "desempenho fotossintético" em plantas sob estresse abiótico e biótico (CRUZ et al., 2014; BANDARRA et al., 2019). Segundo Strasser e Strasser (1995), esta relação mostra a capacidade com que a luz absorvida pelas moléculas de clorofilas consegue reduzir a quinona A (molécula receptora primária de elétrons do fotossistema II). Quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, na ausência de estresses, os valores de F_v/F_m variam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹ (SUASSUNA et al., 2010; FERREIRA et al., 2015), ou seja, 75 a 85 % de probabilidade de que um fóton absorvido consiga reduzir a quinona A. Tendo como referência esse intervalo, pode se deduzir que apenas as condições do ambiente A4 não promoveu danos aos aparato fotossintético das minicepas (0,76). Embora os valores máximos de F_v/F_m variem de acordo com a espécie, é importante ressaltar que, as minicepas eram submetidas constantemente a injúrias mecânicas decorrentes da podas para coleta de brotações, causando uma condição a mais de estresse, uma vez que as plantas teriam que reorganizar todo o seu sistema de crescimento lateral, o que pode estar ligado aos valores abaixo do limite crítico de 0,75 para a relação F_v/F_m . Nos ambientes A1 e A3, a fertirrigação com K, na forma de nitrato de potássio, também se mostrou efetivo em comparação a dose testemunha que apresentou média de 0,67.

Na avaliação do equilíbrio nutricional das minicepas de *P. peroba*, por meio do IBNm (Tabela 6), verifica-se que o cultivo destas nos ambientes A2 e A3, ambientes mais quentes e menos úmidos, contribuíram para a melhoria do estado nutricional. Verificou-se, por meio da análise de componentes principais (Figura 10; Tabela 8) que a MSPA e PB das minicepas atuam de forma direta com as variáveis MSF, InDC, A/g_s e C_i , por atuarem com mesmo sinal do CP1, ou seja, quando o valor de uma aumenta, o valor da outra aumenta (multicolinearidade). Constatou-se que a MSPA foi a variável que apresentou o maior poder discriminatório no CP1, sendo, portanto, a variável mais importante para selecionar de minicepas de *P. peroba* com produtividade e/ou qualidade morfológica superior.

A produção de biomassa é considerada como uma das melhores variáveis morfológicas para descrever o crescimento de mudas florestais (FERNANDES et al., 2019). Segundo Larcher (2006), o crescimento vegetativo é o resultado da diferença entre ganhos em carbono via fotossíntese e as perdas via respiração (saldo do balanço de CO₂), assim, o carbono não consumido no processo respiratório aumenta a massa seca da planta. Ainda segundo o autor, as relações de assimilação de carbono são favorecidas quando existe um

bom controle estomático. A produção de MSPA e PB estiveram significativamente correlacionadas ao equilíbrio nutricional das minicepas, que por sua vez esteve associada à ambientes quentes, secos, com elevados DPVs e altos níveis de CO₂. Esses resultados são compatíveis com o modelo teórico sugerido por Beaufilet (1973), no qual valores baixos de IBNm, que são indicadores de plantas com nutrição equilibrada, em sua maioria corresponderam às plantas com produção alta, confirmando a importância do balanço nutricional para a produção e crescimento de minicepas de *P. peroba*.

Existe complexidade na interação dos fatores climáticos que influenciam o acúmulo de biomassa em plantas (MARENCO; LOPES, 2005). A temperatura do ar é um elemento meteorológico primário, que afeta a *A*, a *E*, a *g_s*, a concentração e difusão do CO₂ e a ativação enzimática. Cada espécie possui uma faixa térmica ideal, na qual as plantas se desenvolvem e crescem com total potencialidade (NIEVOLA et al., 2017). Entretanto, temperaturas acima da faixa ótima causam modificação na fluidez da membrana, conformação de proteínas e enzimas, e alterações na permeabilidade das membranas dos tilacóides do cloroplasto, no acúmulo de amido e síntese de sacarose, e diminuição dos níveis de auxina, citocinina e giberelinas (RUAN et al., 2010). A fotossíntese é o primeiro mecanismo metabólico influenciado pela variação térmica, e quando há um aumento na temperatura, acima da faixa ideal para uma dada espécie, ocorre uma diminuição na assimilação líquida de CO₂, portanto, no peso seco total da planta (WAHID et al., 2007; NIEVOLA et al., 2017). Assim, analisando os dados da Tabela 2, é possível inferir que isoladamente, a temperatura não foi um fator determinante para a produção de MSPA e PB das minicepas, pois as temperaturas médias dos recintos A1, A2 e A3 são semelhantes. Possivelmente, a temperaturas desses ambientes, embora quente, não ultrapassaram o limiar considerado como estresse térmico para a espécie.

O aumento da produção de MSPA e PB nos ambientes A2 e A3 podem estar ligados ainda ao “efeito fertilizante” do CO₂, mais concentrado nesses ambientes (Tabela 2). Em particular, o aumento do CO₂ atmosférico promove a diminuição da fotorrespiração, da taxa de transpiração por unidade foliar, redução da abertura estomática e maior área foliar, aumentos na taxa fotossintética e ganho líquido de carbono na planta, em função do aumento da atividade de carboxilação da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (JAKOBSEN et al., 2016). O resultado é o incremento no crescimento e produtividade em biomassa, sobretudo em vegetais com metabolismo C₃, como o encontrado para as minicepas de *P. peroba*.

4.2. Efeito residual do ambiente e do K aplicado nas minicepas sobre o enraizamento de miniestacas de *P. peroba*

Apesar das características produtivas, morfológicas, fisiológicas e nutricionais das minicepas de *P. peroba* terem apresentado respostas distintas em função das condições ambientais e da adubação mineral de K, a submissão das minicepas a esses fatores não influenciou o enraizamento de miniestacas, o que contraria a segunda hipótese. O percentual de enraizamento foi satisfatório, apresentando média superior a outras espécies da família Bignoniaceae, como o *Handroanthus heptaphyllus* (FREITAS et al., 2016) e *Tecoma stans* (BIONDI et al., 2008), que apresentaram mais de 50% de enraizamento de miniestacas.

De modo geral, o sistema radicular apresentou-se bem formado com raízes principais finas e presença de raízes secundárias, havendo um sutil aumento do CR das miniestacas no ambiente A1 em função das doses de K até a dose estimada 81,44 mg L⁻¹ e a partir desta, o aumento das doses de K promoveu redução do CR (Figura 8). Cunha et al. (2009a), ao avaliarem o grau de associação entre o estado nutricional de minicepas e o enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus*, verificaram que a nutrição mineral desempenha papel importante no enraizamento adventício das miniestacas, gerando respostas diferenciadas de acordo com o nutriente considerado. Pereira e Peres (2016) afirmam ainda que a fonte de onde este nutriente é obtida também pode levar a efeitos diferenciados. Rocha et al. (2015) constataram efeito positivo de doses de N na produtividade e enraizamento de miniestacas do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (I-224). Esses resultados também foram constatados por Rosa et al. (2009) em *Eucalyptus dunnii* e por Martínez-Alonso et al. (2012) em *Pinus pinaster*. Já Freitas et al. (2017) constataram efeito significativo das concentrações de N em fertirrigação para produtividade de minicepas de *Eucalyptus globulus*, contudo não houve efeito do N no enraizamento. Esses resultados indicaram que a adubação com solução nutritiva aplicada nas minicepas deve ser específica para cada genótipo.

Apesar da fonte de K usada ser o KNO₃ (12% de N, 45% de K), não foi constatado efeito desse nutriente no enraizamento de miniestacas de *P. peroba*. O K mesmo não sendo incorporado à cadeia de carbono dos vegetais, apresenta papel de crescimento meristemático, ação de hormônios, turgescência celular e osmótica, transporte e armazenamento de carboidratos, crescimento de pêlos radiculares, síntese de proteínas e amido nas folhas (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012; BEZERRA NETO et al., 2016;

TAIZ et al., 2017). Funções essas que em tese beneficiariam o início da rizogênese e crescimento dos primórdios radiculares em miniestacas avaliadas de minicepas de *P. peroba*. Possivelmente a espécie apresenta alta eficiência de utilização de K, e os níveis iniciais desse nutriente na porção do propágulo onde serão formadas as raízes já estavam em teores suficientes.

Os relatos sobre o efeito da adubação de K na minicepa sobre o enraizamento são escassos na literatura, com predomínio de estudos voltado para o N em espécies/clones de *Eucalyptus*. Cunha et al. (2009b) enfatizam que embora o enraizamento e a nutrição mineral estejam intimamente relacionados, o assunto é complexo com poucos estudos realizados visando à caracterização dos efeitos de nutrientes específicos envolvido nas fases da rizogênese. Xavier et al. (2013) relatam a necessidade de estudos que avaliem a influência de vários elementos minerais isoladamente ou em conjunto no tocante ao enraizamento de propágulos de espécies florestais nativas.

As minicepas do ambiente A4 apresentaram miniestacas com maior C (%), NR e MSPAm (Figura 9). Vale ressaltar que, o ambiente A4 é o único que não que tinha condições controladas, e que as minicepas estavam sujeitas a maior variação atmosférica, comum em minijardim sob condições de viveiros comercial, fato que pode ser desdobrado em minicepas mais rustificadas e no aumento dessas variáveis. Destaca-se, ainda, que as minicepas foram originadas de sementes, e a alta variabilidade genética pode ter influência nos resultados. Recomenda-se para estudos posteriores, o uso de genótipos selecionados submetidos a programas de melhoramento genético.

De modo geral, o enraizamento de miniestacas de *P. peroba* é possível independentemente das condições ambientais e da adubação mineral de K às quais são submetidas às minicepas. Essa aptidão da espécie ao enraizamento pode ser inerente da família Bignoniaceae, contudo, visando ao aumento e otimização da produtividade, a melhoria do vigor vegetativo das minicepas não se recomenda o seu cultivo em ambientes com alta umidade.

5 CONCLUSÕES

As condições ambientais e a adubação mineral potássica influenciam na produtividade de brotos, ecofisiologia e equilíbrio nutricional de minicepas de *P. peroba*.

Ambientes com maior temperatura do ar, menor umidade, maior DPV e maior concentração de CO₂ atmosférico promovem ganhos em produtividade, produção de biomassa e nutrição de minicepas.

As doses de K favorecem a concentração de clorofila total e o controle estomático, sendo a dose 252 mg L⁻¹ a mais adequada.

As condições ambientais e as doses de K aplicadas nas minicepas não influenciaram o enraizamento de miniestacas de *P. peroba*.

6 REFERÊNCIAS

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, A.A. V.; MAFIA, R.G.; FRANCISCO DE A, T. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 500p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, E. F.; ARAUCO, A. M. S; DIAS, B. A. S.; LACERDA, J. J. J.; BOECHAT, C. L.; PORTO, D. L.; ARAUCO, L. R. R. Wastewater from swine farming in the growth and nutrition of *Khaya senegalensis* (DESR.) A Juss seedlings. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 5, p. 1378-1389, 2019.

AZAD, M.S.; ALAM, M.J.; MOLLICK, A.S.; KHAN, M.N.I. Rooting of cuttings of the wild Indian almond tree (*Sterculia foetida*) enhanced by the application of indole-3-butyric acid (IBA) under leafy and non-leafy conditions. **Rhizosphere**, v. 5, p. 8-15, 2018.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008.

BANDARA, A. Y.; WEERASOORIYA, D. K.; TESSO, T. T.; LITTLE, C. R. Stalk rot resistant sorghum genotypes are resilient to pathogen-mediated photosystem II quantum yield retardation. **Crop Protection**, v. 124, 104852, 2019.

BATISTA, A.F.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.D.; QUEVEDO, F.F.; ASSIS, T.F. Influência da arquitetura foliar de miniestacas na propagação clonal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 819-827, 2014.

BAUL, T. K.; MEZBAHUDDIN, M.; HOSSAIN, M. M.; MOHIUDDIN, M. Vegetative propagation of *Holarrhena pubescens*, a wild tropical medicinal plant: effect of indole-3-butyric acid (IBA) on stem cuttings. **Forestry Studies in China**, v. 12, n. 4, p. 228-235, 2010.

BEAUFILS, E. R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): A general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in

plant nutrition. Pietermaritzburg, University of Natal: **Soil Science Bulletin**, v. 1, p. 132, 1973.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P.; COELHO, J. B. M. Considerações sobre nutrição mineral e o caso do feijão vigna. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 11, p. 85-120, 2016.

BIONDI, D.; BREDOW, E.A.; LEAL, L. Influência do diâmetro de estacas no enraizamento de *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p. 277-281, 2008.

BITA, C.; GERATS, T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 273, 2013.

BOURNE, G. H.; JEON, K. W.; FRIEDLONGER, M. Potassium estimation uptake and its role in the physiology and metabolismo flowering plants. **International Review of Cytology**, v. 110, p. 205-254, 1988.

BRONDANI, G.E.; BACCARIN, F.J.B.; BERGONCI, T.; GONÇALVES, A.N.; ALMEIDA, M. *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, AIB, zinco, boro e coletas de brotações. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2014.

BURIN, C.; BISOGNIN, D.A.; LENCINA, K.H.; GIMENES, E.S. Early selection of *Cabralea canjerana* for propagation by mini-cutting. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1018-1024, 2018.

CNCFlora. *Paratecoma peroba* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma peroba](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Paratecoma%20peroba). Acesso em: 05 jan. 2020.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Campa guianensis*). **Acta amazonica**, v.37, n.2, p. 229-234, 2007.

CRUZ, L. I. B.; CRUZ, M. D. C.; FERREIRA, E. A.; CASTRO, G. D.; ALMEIDA, M. D. O. Eficiência quântica do fotossistema II de mudas de abacaxizeiro 'Imperial' em resposta a

associação com *Piriformospora indica* e herbicidas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 4, p. 794-804, 2014.

CUNHA, A. C. M. C. M.; DE PAIVA, H. N.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 58, p. 33-47, 2009b.

CUNHA, A. C. M. C. M.; DE BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 591-599, 2009a.

D'AVILA, F. S.; DE PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; DE BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p.13-19, 2011.

DENAXA, N. -K.; VEMMOS, S. N.; ROUSSOS, P. A. The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 143, p. 19-28, 2012.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; CORREIA, A. C. G.; BARBOSA, G. A. Tipo de miniestaca e de substrato na propagação vegetativa de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 909-919, 2015.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; PAIVA, H. N.; CORREIA, A.C.G. Propagação vegetativa de progênes de meios-irmãos de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 389-399, 2012.

ENGINEER, C. B.; HASHIMOTO-SUGIMOTO, M.; NEGI, J.; ISRAELSSON-NORDSTRÖM, M.; AZOULAY-SHEMER, T.; RAPPEL, W. J.; IBA, K.; SCHROEDER, J. I. CO₂ sensing and CO₂ regulation of stomatal conductance: advances and open questions. **Trends in plant science**, v. 21, n. 1, p. 16-30, 2016.

FERNANDES, M. M.; SOUSA, F. L.; SILVA, J. P. M.; ARAÚJO, E. F.; DE MOURA FERNANDES, M. R.; NÓBREGA, R. S. A. Redes Neurais Artificiais na estimação de variáveis biométricas de mudas de espécies florestais produzidas em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 47-58, 2019.

FERREIRA, E. A.; DE MATOS, C. D. C.; BARBOSA, E. A.; SILVA, D. V.; DOS SANTOS, J. B.; PEREIRA, G. A. M.; FARIA, A. T.; DA SILVA, C. T. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 645-655, 2015.

FIGUEIREDO, F. D. A.; CARNEIRO, J. D. A.; PENCHEL, R. M.; CAMPOSTRINI, E.; THIEBAUT, J. T. L.; BARROSO, D. G. Trocas gasosas, relações hídricas e eficiência fotoquímica em mudas clonais de eucalipto com permanência prolongada em tubetes. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 533-542, 2014.

FRAGOSO, R. O.; STUEPP, C. A.; SÁ, F. P.; KRATZ, D.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WENDLING, I. Vegetative rescue and ex vitro system production of *Tibouchina sellowiana* clonal plants by cutting and mini-cutting. **Ciência Rural**, v. 47, n. 11, p. 1-9, 2017.

FREITAS, A. F.; PAIVA, H. N.; XAVIER, A. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de híbridos de *Eucalyptus globulus* Labill em resposta a nitrogênio. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 193-202, 2017.

FREITAS, T. P.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 313-320, 2016.

GARCIA, M. B. **INAF**: software para interpretação de análise foliar. 2013. 92 p. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

GUIMARÃES, R. N.; SOUZA, E. R. B.; NAVES, R. V.; MELO, A. P. C.; RUBIO NETO, A. Vegetative propagation of pequi (souari nut) by cutting. **Ciência Rural**, v. 49, n. 2, p. 1-6, 2019.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T. J.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2011. 915p.

HSIAO, J.; SWANN, A. L. S.; KIM, S. H. Maize yield under a changing climate: the hidden role of vapor pressure deficit. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 279, 107692, 2019.

JAKOBSEN, I.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; WATTS-WILLIAMS, S. J.; CLAUSEN, S. S.; GRØNLUND, M. Plant growth responses to elevated atmospheric CO₂ are increased by

phosphorus sufficiency but not by arbuscular mycorrhizas. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 21, p. 6173-6186, 2016.

JANNAT, M.; HOSSAIN, M. K.; ALAM, M. S.; HOSSAIN, M. A.; KAMRUZZAMAN, M. Vegetative propagation of tali (*Palaquium polyanthum* Engl.) for commercial harvest and landscape conservation. **Rhizosphere**, v. 3, n. 1, p. 9-12, 2017.

JORGE, L. A. C., SILVA, D. J. C. B. **SAFIRA - Software para a análise de fibras e raízes**. Versão 1.1. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010.

LARBI, A.; KCHAOU, H.; GAALICHE, B.; GARGOURI, K.; BOULAL, H.; MORALES, F. Supplementary potassium and calcium improves salt tolerance in olive plants. **Scientia Horticulturae**, v.260, 108912, 2020.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532p.

LING, Q.; HUANG, W.; JARVIS, P. Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. **Photosynthesis Research**, v. 107, n. 2, p. 209-214, 2011.

LINS, B.L.A.; NASCIMENTO, M.T. Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma floresta estacional semidecidual do norte fluminense, Brasil. **Rodriguésia**, v. 61, n. 3, p. 559-568, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3th ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009, 384p.

MALAVASI, U. C. Macropropagação vegetativa em coníferas: perspectivas biológicas e operacionais. **Floresta e Ambiente**, v. 1, p. 131-135, 1994.

MALAVOLTA E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Ceres. 630p, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. D. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba, São Paulo: POTAFOS, 1997. 201 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV. 2005. 451p.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. Amsterdã: Academic Press, 2012. 649p.

MARTÍNEZ-ALONSO, C.; KIDELMAN, A., FEITO, I.; VELASCO, T.; ALÍA, R.; GASPAR, M. J.; MAJADA, J. Optimization of seasonality and mother plant nutrition for vegetative propagation of *Pinus pinaster* Ait. **New Forests**, v. 43, n. 5-6, p. 651-663, 2012.

MELO, A. S. DE; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; AGUIAR NETTO, A. DE O. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (editor). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS/UFV, 2009. p. 281-298.

NIEVOLA, C. C.; CARVALHO, C. P.; CARVALHO, V.; RODRIGUES, E. Rapid responses of plants to temperature changes. **Temperature**, v. 4, p. 4, p. 371-405, 2017.

OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; KAWAKAMI, E. M.; PETTIGREW, W. T. The physiology of potassium in crop production. In **Advances in Agronomy**, v. 126, p. 203-233, 2014.

PEREIRA, F. B.; PERES, F. S. B. Nutrição e enraizamento adventício de plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 319-326, 2016.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2011.

DU, Q.; ZHAO, X. H.; XIA, L.; JIANG, C. J.; WANG, X. G.; HAN, Y.; WANG, J. YU, H. Q. Effects of potassium deficiency on photosynthesis, chloroplast ultrastructure, ROS, and antioxidant activities in maize (*Zea mays* L.). **Journal of integrative agriculture**, v. 18, n. 2, p. 395-406, 2019.

RAGEL, T. P.; RADDATZ, N.; LEIDI MONTES, E. O.; QUINTERO, F. J.; PARDO, J. M. Regulation of K⁺ nutrition in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 281, p. 1-21, 2019.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C. B.; BORELLI, K.; PRIETO, M. R.; SANTOS, A. J. M.; GODINHO, T. D. O. Produtividade do minijardim e qualidade de miniestacas de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (I-224) em função de doses de nitrogênio. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 273-279, 2015.

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

ROSA, L. S.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; REISSMANN, C. B. Efeito da dose de nitrogênio e de formulações de substratos na miniestaquia de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1025-1035, 2009.

RODRIGUES, H. J. B.; COSTA, R. F. DA; RIBEIRO, J. B. M.; SOUZA FILHO, J. D. DA C.; RUIVO, M. DE L. P.; SILVA JÚNIOR, J. DE A. Variabilidade sazonal da condutância estomática em um ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 189-196, 2011.

RUAN, Y. L.; JIN, Y.; YANG, Y. J.; LI, G. J.; BOYER, J. S. Sugar input, metabolism, and signaling mediated by invertase: roles in development, yield potential, and response to drought and heat. **Molecular Plant**, v. 3; n. 6, p. 942-955, 2010.

SAVCHENKO, G. E.; KLYUCHAREVA, E. A.; ABRAMCHIK, L. M.; SERDYUCHENKO, E. V. Effect of periodic heat shock on the inner membrane system of etioplasts. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 49, n. 3, p. 349-359, 2002.

SILVA, F. C. D. A. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

STRASSER, B. J.; STRASSER, R. J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: MATHIS, P. (Ed.). **Photosynthesis**: from light to biosphere. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, p. 977- 980, 1995.

SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S. DE; SOUSA, M. S. S.; COSTA, F. S.; FERNANDES, P. D.; PEREIRA, V. M.; BRITO, M. E. B. Desenvolvimento e eficiência fotoquímica em mudas de híbrido de maracujazeiro sob lâminas de água. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 566-571, 2010.

VALLADARES, F.; ARRIETA, S.; ARANDA, I.; LORENZO, D.; TENA, D.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, D.; SUAREZ, F.; PARDOS, J. A. Shade tolerance, photoinhibition sensitivity and phenotypic plasticity of *Ilex aquifolium* in continental-Mediterranean sites. **Tree Physiology**, v. 25, n. 8, p. 1041-1052, 2005.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal**: princípios e técnicas. 2ª ed. Viçosa, UFV, 2013, 280 p.

YE, X.; CHEN, X. F.; DENG, C. L.; YANG, L. T.; LAI, N. W.; GUO, J. X.; CHEN, L. S. Magnesium-Deficiency Effects on Pigments, Photosynthesis and Photosynthetic Electron Transport of Leaves, and Nutrients of Leaf Blades and Veins in *Citrus sinensis* Seedlings. **Plants**, v. 8, n. 10, p. 389, 2019.

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 3, p. 199-223, 2007.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil assumiu compromissos internacionais pelo combate às mudanças do clima no Acordo de Paris. Em 2015, lançou o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) com o compromisso de reflorestar 12 milhões de hectares até 2030. Por conta dessas e outras obrigatoriedades legais, existe atualmente um interesse crescente em informações sobre propagação de espécies arbóreas brasileiras. Um dos grandes entraves é a produção de sementes de espécies florestais nativas em quantidade, qualidade e frequência para a execução de ações de restauração ecológica, sobretudo para espécies raras com populações reduzidas, ameaçadas e/ou em locais remotos, como a *P. peroba*.

A propagação vegetativa pode ser uma alternativa para suprimento da demanda em quantidade e diversidade de espécies para restauração das florestas tropicais. Neste estudo foi possível constatar que a *P. peroba* apresenta aptidão à propagação vegetativa por meio da técnica de miniestaquia, com valores de enraizamento de até 82,5%. Recomenda-se o uso de miniestacas com 10 cm e 100% da área foliar, sendo que o AIB é dispensável. O esterco bovino pode ser usado como condicionador de substrato até 80% do volume. O tubete de 180 cm³ e o substrato comercial à base de *Pinus* enriquecido com FLC na dose 6 kg m⁻³ mostrou-se eficiente na obtenção de clones equilibrados nutricionalmente.

Os resultados apontam ainda que temperaturas mais altas, menor umidade do ar, maior DPV e CO₂ atmosféricos estimulam a produtividade e promovem um melhor equilíbrio nutricional de minicepas, desde que o suprimento hídrico seja adequado. Ambientes com alta umidade não são adequadas à alocação de minicepas de *P. peroba*. A adubação mineral com K, na forma de nitrato de potássio, influencia positivamente a concentração de clorofila e as trocas gasosas.

O enraizamento de miniestacas é um modelo de propagação vegetativa fácil, rápido e de baixo custo de propagação da *P. peroba*. Esses resultados possibilitarão a produção massal de mudas, em tempo hábil para o atendimento de projetos de restauração na Floresta Atlântica, bem como base para o melhoramento genético da espécie para cultivo comercial. Ressaltamos que, para que programas de clonagem da *P. peroba*, como de qualquer outra espécie seja tecnicamente viável e ecologicamente responsável para projetos de recuperação ambiental, recomenda-se a utilização de uma maior número de matrizes, afim de abranger a maior variabilidade genética possível.