

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

**ANA PAULA BRAIDO PINHEIRO**

**PRODUÇÃO DE MUDAS, REVEGETAÇÃO E  
EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE ESPÉCIES NATIVAS  
NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO  
BIOMA MATA ATLÂNTICA**

**São Mateus – ES**

**Julho de 2019**

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

**PRODUÇÃO DE MUDAS, REVEGETAÇÃO E  
EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE ESPÉCIES NATIVAS  
NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO  
BIOMA MATA ATLÂNTICA**

**ANA PAULA BRAIDO PINHEIRO**

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

Orientador: Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires

**São Mateus – ES**

**Julho de 2019**

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

---

P654p Pinheiro, Ana Paula Braido, 1994-  
Produção de mudas, revegetação e eficiência nutricional de  
espécies nativas na recuperação de áreas degradadas no Bioma  
Mata Atlântica / Ana Paula Braido Pinheiro. - 2019.  
92 f. : il.

Orientador: Fábio Ribeiro Pires.

Coorientadores: Adriano Alves Fernandes, Edilson Romais  
Schmidt.

Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário  
Norte do Espírito Santo.

1. Fertilidade do solo. 2. Restinga. 3. Tabuleiro costeiro. 4.  
Nutrição mineral de plantas. I. Pires, Fábio Ribeiro. II.  
Fernandes, Adriano Alves. III. Schmidt, Edilson Romais. IV.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário  
Norte do Espírito Santo. V. Título.

CDU: 63

---

**ANA PAULA BRAIDO PINHEIRO**

**PRODUÇÃO DE MUDAS, REVEGETAÇÃO E EFICIÊNCIA  
NUTRICIONAL DE ESPÉCIES NATIVAS NA RECUPERAÇÃO DE  
ÁREAS DEGRADADAS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 31 de julho de 2019.

**COMISSÃO EXAMINADORA**



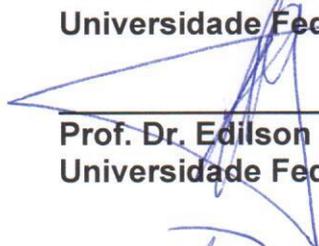
---

**Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



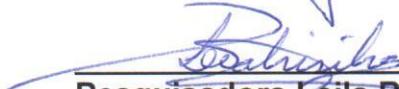
---

**Prof. Dr. Adriano Alves Fernandes**  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Prof. Dr. Edilson Romais Schmildt**  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Pesquisadora Eéila Beatriz Silva Cruz**  
Petrobras

“Alguém está sentado na sombra hoje  
porque alguém plantou uma árvore há  
muito tempo.”

Warren Buffett

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar meu caminho me dando forças para seguir sempre em frente, sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais, Maria Geralda e Nivaldo, por todo amor que me dedicaram e por toda educação que me proporcionaram. Agradeço por sempre me incentivarem nos estudos e acreditarem no meu potencial, estando sempre ao meu lado sem medir esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Vocês são meu exemplo de vida e alicerce de sustentação.

Ao meu irmão Marcus André, pela amizade, carinho, incentivo e por sempre torcer por mim.

Ao meu noivo, Lucas, por todo amor, companheirismo, paciência, dedicação e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus orientadores e coorientadores, Fábio Ribeiro Pires, Adriano Alves Fernandes e Edilson Romais Schmildt, professores de extrema competência que acreditaram e confiaram na minha capacidade: vocês foram fundamentais para esta conquista. Agradeço pelos ensinamentos, orientações, dedicação e amizade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, por partilharem seus conhecimentos.

Aos meus amigos, Adriele dos Santos Jardim, André Luiz Ribeiro Azeredo, João Vitor Garcia Silva, Lana Lírio Longue, Renata Ahnert, Sara Francischetto Nunes e Vinicius de Souza Oliveira, por me auxiliarem nas avaliações dos experimentos, pelas conversas, pela amizade e pelos momentos de descontração.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT), pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Petrobras (Petróleo Brasileiro S. A.) pelo financiamento da pesquisa e fornecimento da bolsa de estudo.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para esta conquista.

Muito obrigada!

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. CAPÍTULOS .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 PRODUÇÃO E QUALIDADE DE MUDAS DE <i>Canavalia rosea</i> SOB INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO E DA ADUBAÇÃO QUÍMICA.....</b>	<b>2</b>
Resumo .....	2
Abstract.....	4
1.1.1 Introdução.....	5
1.1.2 Material e Métodos .....	6
1.1.3 Resultados e Discussão.....	10
1.1.4 Conclusões .....	19
Referências.....	21
Apêndice .....	25
<b>1.2 PREPARO DE SOLO E ADUBAÇÃO COM NPK NO PLANTIO DE CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA EM ÁREA DE EXTRAÇÃO DE ARGILA .....</b>	<b>27</b>
Resumo .....	27
Abstract.....	29
1.2.1 Introdução.....	30
1.2.2 Material e Métodos .....	31
1.2.3 Resultados e Discussão.....	34
1.2.4 Conclusões .....	44
Referências.....	45
Apêndice .....	49
<b>1.3 EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE <i>Ipomoea pes-caprae</i> EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA .....</b>	<b>53</b>
Resumo .....	53
Abstract.....	55
1.3.1 Introdução.....	56
1.3.2 Material e Métodos .....	57
1.3.3 Resultados e Discussão.....	59

1.3.4 Conclusões .....	69
Referências.....	70
Apêndice.....	74
<b>1.4 ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE FOLHAS COMPOSTAS DE MUDAS DE <i>Canavalia rosea</i> ATRAVÉS DE DIMENSÕES LINEARES DO ÚLTIMO FOLÍOLO</b>	<b>77</b>
Resumo .....	77
Abstract.....	79
1.4.1 Introdução.....	80
1.4.2 Material e Métodos .....	81
1.4.3 Resultados e Discussão.....	83
1.4.4 Conclusão.....	89
Referências.....	90

## RESUMO

PINHEIRO, Ana Paula Braido; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Julho de 2019; **Produção de mudas, revegetação e eficiência nutricional de espécies nativas na recuperação de áreas degradadas no Bioma Mata Atlântica**; Orientador: Fábio Ribeiro Pires, Coorientadores: Adriano Alves Fernandes e Edilson Romais Schimdt.

Os remanescentes florestais da Mata Atlântica encontram-se bem abaixo da vegetação original, e com isso cresce a ocorrência de áreas degradadas por atividades antrópicas resultantes do crescimento econômico causando remoção da camada fértil do solo e exposição dos horizontes de baixa fertilidade. Essas áreas, em sua maioria, apresentam-se compactadas, pois encontram-se nos horizontes subsuperficiais e com déficit no teor de nutrientes, impossibilitando o desenvolvimento das espécies. Portanto, para se obter sucesso em projetos de recuperação de áreas degradadas são necessárias mudas de qualidade, utilizar técnicas que possibilitem o desenvolvimento das espécies nessas áreas, conhecer as espécies que se adaptam a um determinado tipo de degradação e o seu requerimento nutricional. Visando à recuperação e o manejo de áreas degradadas quatro experimentos foram desenvolvidos. No primeiro experimento objetivou-se produzir mudas de qualidade de *Canavalia rosea* com baixo custo utilizando diferentes substratos e adubações. Os níveis de adubação com superfosfato simples, superfosfato simples + micronutrientes, NPK 4-14-8 e NPK 4-14-8 + micronutrientes proporcionaram mudas com altura, número de folhas, área foliar e massa seca total superiores estatisticamente às mudas produzidas sem adubação. O substrato com maior proporção de argila proporcionou maior altura, número de folhas e área foliar das mudas comparado ao substrato mais arenoso. O menor custo de produção dos substratos para produzir mudas vigorosas foi encontrado no substrato mais argiloso com aplicação de superfosfato simples. No segundo experimento objetivou-se avaliar o preparo de solo e níveis de adubação com NPK 04-14-08 no plantio de cinco espécies nativas em área degradada pela extração de argila. O tipo de preparo do solo não influenciou o desenvolvimento das espécies em campo. Fertilização no plantio com NPK 04-14-08 possibilitou a adaptação das espécies testadas à área degradada, sendo que as espécies *Dalbergia ecastaphyllum* e *Schinus terebinthifolius* apresentaram um desenvolvimento mais acelerado,

enquanto *Inga laurina*, *Protium heptaphyllum* e *Psidium cattleianum* tiveram um desenvolvimento mais lento. No terceiro experimento objetivou-se avaliar o crescimento, a produção de biomassa, o conteúdo e a eficiência nutricional da *Ipomoea pes-caprae*, cultivada em solução nutritiva sob concentrações de fósforo. O crescimento e a produção de biomassa de *I. pes-caprae* não sofreram efeito com a redução da concentração de P na solução nutritiva. Os teores de macronutrientes encontrados até mesmo nas menores concentrações de P, são considerados satisfatórios. Os nutrientes mais acumulados e eficientemente absorvidos foram N, K e Ca, enquanto que P, S e Mg foram os mais eficientemente utilizados pela espécie. No quarto experimento objetivou-se propor equações matemática a partir de medidas de dimensões lineares para estimativa da área foliar de *C. rosea*. A área foliar de *C. rosea* pode ser mensurada de maneira rápida, fácil e não destrutiva, através do produto da multiplicação do comprimento ao longo da nervura principal com a largura máxima do limbo foliar do último folíolo, pela equação de modelo potência determinada.

**Palavras-chave:** nutrição mineral, preparo do solo, recuperação de áreas da mineração, tabuleiro costeiro, restinga, método não destrutivo.

## ABSTRACT

PINHEIRO, Ana Paula Braidó; M.Sc; Federal University of Espírito Santo; July 2019; **Seedling production, revegetation and nutritional efficiency of native species in the recovery of degraded areas in the Atlantic Forest Biome**; Advisor: Fábio Ribeiro Pires, Co-advisors: Adriano Alves Fernandes and Edilson Romais Schimdt.

The forest remnants of the Atlantic Forest are well below the original vegetation, and with this increase the occurrence of areas degraded by anthropic activities resulting from economic growth causing removal of the fertile soil layer and exposure of horizons of low fertility. These areas, for the most part, are compacted because they are in the subsurface horizons and with deficits in the nutrient content, making the development of the species impossible. Therefore, in order to be successful in projects for the recovery of degraded areas, quality seedlings are necessary, to use techniques that allow the development of the species in these areas, to know the species that adapt to a particular type of degradation and its nutritional requirements. Aiming at the recovery and management of degraded areas four experiments were developed. In the first experiment the objective was to produce quality seedlings of *Canavalia rosea* with low cost using different substrates and fertilizers. The levels of fertilization with simple superphosphate, simple superphosphate + micronutrients, NPK 04-14-08 and NPK 04-14-08 + micronutrients provided seedlings with height, number of leaves, leaf area and total dry mass statistically superior to the seedlings produced without fertilization. The substrate with higher proportion of clay provided higher height, number of leaves and leaf area of the seedlings compared to the sandier substrate. The lowest cost of production of the substrates to produce vigorous seedlings was found on the substrate more clayey with simple superphosphate application. In the second experiment the objective was to evaluate the soil preparation and fertilization levels with NPK 04-14-08 in the planting of five native species in an area degraded by clay extraction. The type of soil preparation did not influence the development of the species in the field. Fertilization in the planting with NPK 04-14-08 allowed the tested species to adapt to the area degraded by clay extraction, and the species *Dalbergia ecastaphyllum* and *Schinus terebinthifolius* showed a more rapid development, while *Inga laurina*, *Protium heptaphyllum* and *Psidium cattleianum* had a slower development. In the third experiment the objective was to evaluate the growth, biomass production, content and

nutritional efficiency of *Ipomoea pes-caprae*, cultivated in nutrient solution under phosphorus concentrations. Growth and biomass production of *I. pes-caprae* were not affected by the reduction of the P concentration in the nutrient solution. The macronutrient contents found even at the lowest concentrations of P, are considered satisfactory. The most accumulated and efficiently absorbed nutrients were N, K and Ca, whereas P, S and Mg were the most efficiently used by the species. In the fourth experiment the objective was to propose mathematical equations using linear dimensions to estimate the leaf area of *C. rosea*. The leaf area of *C. rosea* can be measured quickly, easily and non-destructively through the product of the multiplication of the length along the main vein with the maximum width of the leaf blade of the last leaflet, by the determined power model equation.

**Keywords:** mineral nutrition, soil preparation, recovery of mining areas, coastal board, restinga, non-destructive method.

## **1. CAPÍTULOS**

## **1.1 PRODUÇÃO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Canavalia rosea* SOB INFLUÊNCIA DO SUBSTRATO E DA ADUBAÇÃO QUÍMICA**

### **Resumo**

O sucesso na recuperação de áreas degradadas é dependente da aquisição de mudas de qualidade aliada ao baixo custo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do substrato e da adubação química na produção e qualidade de mudas de *Canavalia rosea* em tubetes e seus respectivos custos de produção. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal do Espírito Santo – Campus São Mateus, em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 2x5. Foram testados dez tratamentos, que constaram de dois substratos com areia:argila:fibra de coco (2:1:1 e 1:2:1) e cinco adubações (sem adubo, com superfosfato simples, com superfosfato simples + micronutrientes, com NPK 04-14-08 e com NPK 04-14-08 + micronutrientes). Avaliou-se índice de velocidade de emergência por meio da contagem diária de plântulas, e 45 dias após a semeadura, avaliaram-se porcentagem de emergência, altura da muda, diâmetro do coleto, número de folhas, área foliar, massa seca da parte aérea, da raiz e total e índice de qualidade de Dickson. O substrato 1:2:1 e os níveis de adubação com superfosfato simples, com superfosfato simples + micronutrientes, com NPK 04-14-08

e com NPK 04-14-08 + micronutrientes foram superiores à testemunha em altura da muda, número de folhas, área foliar, massa seca da parte aérea e total, embora o índice de qualidade de Dickson não tenha apresentado diferença estatística entre os níveis dos fatores estudados. Visando ao baixo custo e à qualidade das mudas, recomenda-se utilizar o substrato na proporção 1:2:1 (areia:argila:fibra de coco) e a adubação com superfosfato simples.

**Palavras-chave:** crescimento inicial, nutrição mineral, restinga, Mata Atlântica, feijão da praia.

## Abstract

The success in the recovery of degraded areas is dependent on the acquisition of quality seedlings coupled with the low cost. The present work had as objective to evaluate the effects of the substrate and the chemical fertilization on the production and quality of *Canavalia rosea* seedlings in tubes and their respective production costs. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Espírito Santo - São Mateus Campus, in an experimental design of randomized blocks in a 2x5 factorial scheme. Ten treatments were tested, consisting of two substrates with sand: clay:coconut fiber (2:1:1 and 1: 2:1) and five fertilizations (without fertilizer, with simple superphosphate, simple superphosphate + micronutrients, with NPK 04-14-08 and NPK 04-14-08 + micronutrients). The emergence speed index was evaluated by daily seedling counting, and 45 days after sowing, emergence percentage, seedling height, leaflet diameter, leaf number, leaf area, shoot, root and total dry mass, and Dickson quality index were evaluated. The substrate 1:2:1 and the levels of fertilization with simple superphosphate, simple superphosphate + micronutrients, NPK 04-14-08, and with NPK 04-14-08 + micronutrients were superior to the other levels in height of the plant, number of leaves, leaf area, dry mass of aerial part and total, although the quality index of Dickson did not present statistical difference between the levels of the studied factors. Aiming at the low cost and the quality of the seedlings, it is recommended to use the substrate in the proportion 1:2:1 (sand:clay:coconut fiber), and fertilization with simple superphosphate.

**Keywords:** initial growth, mineral nutrition, restinga, Atlantic Forest, beach bean.

### 1.1.1 Introdução

O conhecimento das espécies nativas tornou-se indispensável, dado os agravantes ambientais que tem surgido e a carência em recuperar áreas degradadas. O crescimento de mudas em campo é dependente da sua qualidade, e um dos desafios para alcançar o sucesso em projetos de recuperação é a aquisição de mudas de qualidade aliado a um baixo custo de produção. Para muitas espécies florestais nativas ainda são escassas informações sobre o crescimento e qualidade das mudas, sobretudo a respeito dos substratos e da sua adequada nutrição.

O substrato utilizado para a produção de mudas deve apresentar em sua composição matérias-primas com boas características biológicas e físico-químicas, afim de promover o incremento de matéria seca da parte aérea e da raiz e acelerar o crescimento das plântulas (YAMANISHI et al., 2004), priorizando baixo custo (FONSECA et al., 2002).

Materiais orgânicos vem cada vez mais sendo utilizados como alternativas para substratos na produção de mudas. A fibra de coco surge no mercado como uma alternativa ao impacto gerado pelo acúmulo de cocos descartados visto o elevado consumo de água de coco, trazendo dificuldades ambientais e logísticas (SILVA et al., 2017). Além da importância ambiental, econômica e social da utilização da casca do coco como fibra, esta apresenta ótimas propriedades físico-químicas para a produção de mudas, como alta porosidade, boa capacidade de aeração, alta capacidade de troca catiônica por ser inerte, tudo isso considerando a abundância da matéria prima e ao baixo custo (CARRIJO et al., 2002).

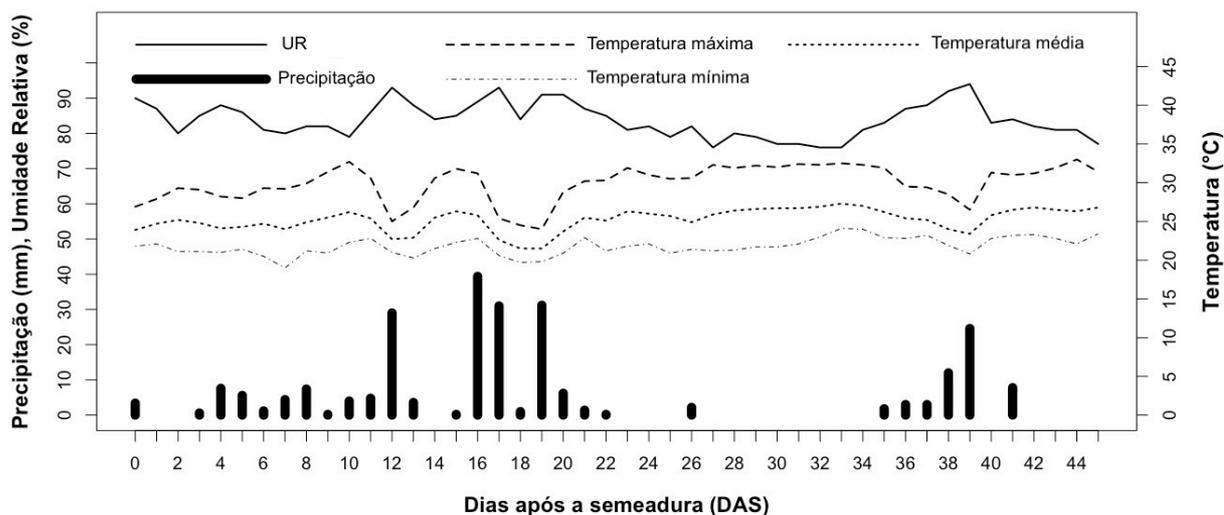
A adubação é um outro fator indispensável quando se pensa em produção de mudas com qualidade, pois a nutrição adequada permite que o sistema radicular explore maiores volumes de substrato, contribuindo para aumentar a absorção de água e nutrientes, garantindo o crescimento das plantas (NATALE et al., 2018), e tornando-as mais vigorosas para resistirem as adversidades no campo (DIAS et al., 2016). Ainda segundo os autores supracitados, em viveiros florestais, faz-se o uso de fertilizantes compostos por nitrogênio, fósforo e potássio solúveis em água, entretanto, espécies florestais nativas podem apresentar exigências nutricionais específicas, sendo necessário estudos que determinem quais os nutrientes adequados a fim de produzir mudas de qualidade para cada espécie.

*Canavalia rosea*, vulgarmente conhecida como feijão da praia é uma espécie da família Leguminosae-Fabaceae (GONÇALVES et al., 2008), distribuída por todas as áreas costeiras tropicais e subtropicais do mundo (MOHAJER et al., 2017). Esta espécie apresenta importância econômica podendo ser utilizada como adubo verde, forragem, alimento, substâncias farmacêuticas, compostos bioativos e por ser uma espécie herbácea perene com hábito estolonífero, controla a erosão dos solos em áreas secas e arenosas do litoral (SRIDHAR e BHAGYA, 2007).

Embora *C. rosea* apresente semente com comprimento médio de 1,5 cm (GONÇALVES et al., 2008), podendo ser utilizada na semeadura direta no campo, essa prática torna-se inviável quando se deseja recuperar restingas, pois a elevada temperatura do solo poderá reduzir a taxa de germinação e tornar onerosa a compra de sementes, considerando o elevado preço de sementes florestais nativas no mercado. Assim, a produção de mudas possibilita economia de sementes, pois a fase de germinação e o crescimento inicial ocorre em condições favoráveis de sombreamento e irrigação, assegurando a sobrevivência das plantas no campo. Por ser uma espécie encontrada em ambiente de baixa fertilidade, a *C. rosea* pode ser menos exigente em adubações durante seu crescimento inicial, proporcionando redução de custos com substratos e adubação na fase de muda. O objetivo foi avaliar os efeitos do substrato, com diferentes proporções de areia:argila:fibra de coco, e da adubação química na produção e qualidade de mudas de *C. rosea* em tubetes, por meio das variáveis morfológicas e seus respectivos custos de produção por metro cúbico.

### **1.1.2 Material e Métodos**

O experimento foi realizado no período de novembro de 2018 a janeiro de 2019 em casa de vegetação com sombrite 30%, na Universidade Federal do Espírito Santo – Campus São Mateus, situada a aproximadamente 38 m de altitude. A região apresenta clima do tipo Aw (tropical úmido), segundo a classificação de Koppen (ALVARES et al., 2014). Os dados meteorológicos da região de estudo durante a condução do experimento são provenientes da estação meteorológica de observação de superfície automática do Instituto Nacional de Meteorologia localizada no município (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação, umidade relativa, temperatura máxima, mínima e média do período de condução do experimento, no município de São Mateus, ES.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5, correspondendo a dois substratos e cinco adubações, correspondendo a dez tratamentos cuja representação está na Tabela 1. Cada tratamento era composto por sete plantas por parcela e três repetições. A adubação dos substratos foi adaptada do manual de produção de mudas de espécies florestais nativas (SCREMIN-DIAS et al., 2006).

A preparação da fibra de coco utilizada nos substratos foi realizada com um triturador de coco, modelo Trc40 da marca Trapp® com potência de 5 cv e seca sobre lona plástica até a completa desidratação. A areia e a argila foram coletadas em jazidas de extração, áreas que posteriormente serão revegetadas com essas mudas. Os substratos foram preparados em proporções volumétricas, conforme os tratamentos descritos anteriormente, com aplicação de 250 g m<sup>-3</sup> de calcário dolomítico para todos os tratamentos e homogêneos para posterior preenchimento dos tubetes.

Os tubetes empregados na produção de mudas apresentavam forma cônica, com capacidade de 290 cm<sup>3</sup>, perfurados na extremidade inferior, com oito estrias e dimensões de 19,0 cm de altura e 5,4 cm de diâmetro interno na abertura superior. A frequência de irrigação foi de quatro vezes ao dia por 15 minutos utilizando aspersores, totalizando uma precipitação média de 8 mm dia<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Tratamentos e suas respectivas formulações do substrato e adubação para produção de mudas de *Canavalia rosea*.

Tratamentos	Composição
S <sub>1</sub> A <sub>0</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (2:1:1)
S <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (2:1:1) + 1,5 kg m <sup>-3</sup> Superfosfato simples
S <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (2:1:1) + 1,5 kg m <sup>-3</sup> Superfosfato simples + 150 g m <sup>-3</sup> FTE BR12 (micronutrientes)
S <sub>1</sub> A <sub>3</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (2:1:1) + 1,93 kg m <sup>-3</sup> NPK 04-14-08
S <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (2:1:1) + 1,93 kg m <sup>-3</sup> NPK 04-14-08 + 150 g m <sup>-3</sup> FTE BR12 (micronutrientes)
S <sub>2</sub> A <sub>0</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (1:2:1)
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (1:2:1) + 1,5 kg m <sup>-3</sup> Superfosfato simples
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (1:2:1) + 1,5 kg m <sup>-3</sup> Superfosfato simples + 150 g m <sup>-3</sup> FTE BR12 (micronutrientes)
S <sub>2</sub> A <sub>3</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (1:2:1) + 1,93 kg m <sup>-3</sup> NPK 04-14-08
S <sub>2</sub> A <sub>4</sub>	Mistura de areia + argila + fibra de coco (1:2:1) + 1,93 kg m <sup>-3</sup> NPK 04-14-08 + 150 g m <sup>-3</sup> FTE BR12 (micronutrientes)

As sementes de *C. rosea* foram coletadas e cedidas pelo Centro Sócio-Cultural e Ambiental José Bahia, passando por um período de armazenamento de três meses. No preparo, foram acondicionadas em *becker* de vidro, imersas por 15 minutos em solução contendo 1% do fungicida Captan® e posteriormente, lavadas com água destilada. Houve eliminação parcial do tegumento na região oposta ao hilo, conforme sugerido por Costa et al. (2013), e logo após foi realizada a semeadura de uma semente por tubete.

As mudas permaneceram na casa de vegetação por 45 dias após a semeadura. Durante a emergência, foi determinado o índice de velocidade de emergência (IVE) por meio da contagem diária das plântulas, conforme proposto por Maguire (1962). Adotou-se como critério de emergência o surgimento dos cotilédones. Ao final do experimento, avaliou-se a porcentagem de emergência (%E), a altura (H), o diâmetro do coleto (DC), o número de folhas (NF), a área foliar (AF), a massa seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR), massa seca total (MST) e o índice de qualidade de Dickson (DICKSON et al., 1960).

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Nn} \quad (1)$$

Maguire (1962)

Em que: IVE = índice de velocidade de emergência; E1, E2, ... En = número de plântulas computadas na primeira contagem, na segunda contagem e na última contagem; N1, N2, ... Nn = número de dias da sementeira à primeira, segunda e última contagem.

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (2)$$

Dickson et al. (1960)

Em que: IQD = índice de qualidade de Dickson; MST = massa seca total, em g; MSPA = massa seca da parte aérea, em g; MSR = massa seca de raiz, em g; H = altura da muda, em cm; DC = diâmetro do coleto, em mm.

A altura das mudas foi mensurada com régua graduada em milímetros, da região do coleto à gema apical. O diâmetro do coleto foi obtido com auxílio de paquímetro digital em milímetros. Para determinar a massa seca das plantas, as mudas foram separadas em parte aérea e raiz, sendo as raízes lavadas em água corrente e posteriormente, ambas a partes foram acondicionadas em sacos de papel, separados e identificados, e colocados para secar em estufa à 65°C até atingirem peso constante, e então pesados em balança semi-analítica Gehaka® modelo BK300 com precisão de 0,01 g. Para determinar a área foliar, cada folha trifoliolada de *C. rosea* foi escaneada em Scanner da marca HP® modelo Deskjet F4280 e as imagens foram salvas no formato TIF com 75 dpi, e posterior leitura da área foliar de cada planta foi realizada com o *software* ImageJ® (SCHINDELIN et al., 2015).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e quando significativas, as interações foram desdobradas e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando o pacote de dados 'ExpDes.pt' versão 1.2 (FERREIRA et al., 2018) no *software* R (R CORE TEAM, 2018).

Para a determinação do custo de produção por metro cúbico dos tratamentos (substrato + adubação), calculou-se o custo de cada produto e sua proporção na formulação. Utilizou-se o valor de mercado para areia, argila e os fertilizantes na região de São Mateus-ES, e para o custo da fibra de coco, consideraram-se apenas o custo do frete para buscar os cocos e hora de serviço para triturá-los.

### 1.1.3 Resultados e Discussão

O resumo das análises de variâncias das variáveis estudadas nas mudas de *C. rosea* aos 45 dias após a semeadura estão na Tabela 2. O coeficiente de variação da porcentagem de emergência, diâmetro do coleto, número de folhas, área foliar e massa seca da parte aérea são classificados como baixo, o das variáveis índice de velocidade de emergência, altura, massa seca total e índice de qualidade de Dickson são denominados médio, e o coeficiente de variação da massa seca da raiz como alto, de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009). Destaca-se que o coeficiente de variação da massa seca da raiz (26,23%), foi o maior encontrado nesse trabalho, podendo ter dificultado o efeito sobre essa variável. É comum encontrar coeficiente de variação elevado em matéria seca de mudas, sobretudo quando se trata da raiz, como verificado também por outros autores (COSTA et al., 2005; ELOY et al., 2013; DELARMELINA et al., 2014; MARANA et al., 2015).

Ainda analisando a Tabela 2, verifica-se que somente a variável massa seca da parte aérea apresentou interação entre os fatores substrato e adubo. Na altura da muda, número de folhas, área foliar e massa seca total, os fatores foram estudados isoladamente quando significativos e as demais variáveis não apresentaram diferenças estatísticas.

A porcentagem de emergência das sementes de *C. rosea* nos substratos testados é considerada alta, com média superior a 95% (Tabela 3), embora as sementes tenham passado por um período de armazenamento. Gonçalves et al. (2008) colocando sementes de *C. rosea* recém coletadas de frutos maduros para germinarem em condições ambientais, em terra vegetal e areia, observaram germinação de 100% em ambos os substratos. Costa et al. (2013) obtiveram germinação inferior a 20% em germinador do tipo B.O.D. à temperatura de 25°C, quando não foi realizado nenhum tipo de escarificação na semente de *C. rosea* e germinação de aproximadamente 90% quando realizada a mesma escarificação utilizada neste trabalho, constando a importância desta prática para o processo de germinação das sementes desta espécie.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância da porcentagem de emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE), altura da muda (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Canavalia rosea* cultivadas sob diferentes substratos e adubação química, 45 dias após a semeadura.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		E	IVE	H	DC	NF
Bloco	2	6,80	0,35	4,76	0,153	0,098
Substrato	1	244,99 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	35,17*	0,045 <sup>ns</sup>	0,354*
Adubo	4	17,02 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	43,06*	0,009 <sup>ns</sup>	0,727*
Substrato*Adubo	4	57,85 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	4,78 <sup>ns</sup>	0,011 <sup>ns</sup>	0,118 <sup>ns</sup>
Resíduo	18	67,29	0,38	2,02	0,016	0,080
CV (%)		8,61	10,85	10,32	3,57	6,79

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		AF	MSPA	MSR	MST	IQD
Bloco	2	776,6	0,034	0,205	0,164	0,010
Substrato	1	6134,4*	0,243*	0,010 <sup>ns</sup>	0,154 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>
Adubo	4	3595,8*	0,174*	0,098 <sup>ns</sup>	0,506*	0,002 <sup>ns</sup>
Substrato*Adubo	4	537,0 <sup>ns</sup>	0,096*	0,013 <sup>ns</sup>	0,111 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
Resíduo	18	269,1	0,016	0,057	0,099	0,008
CV (%)		9,90	7,42	26,23	12,10	19,50

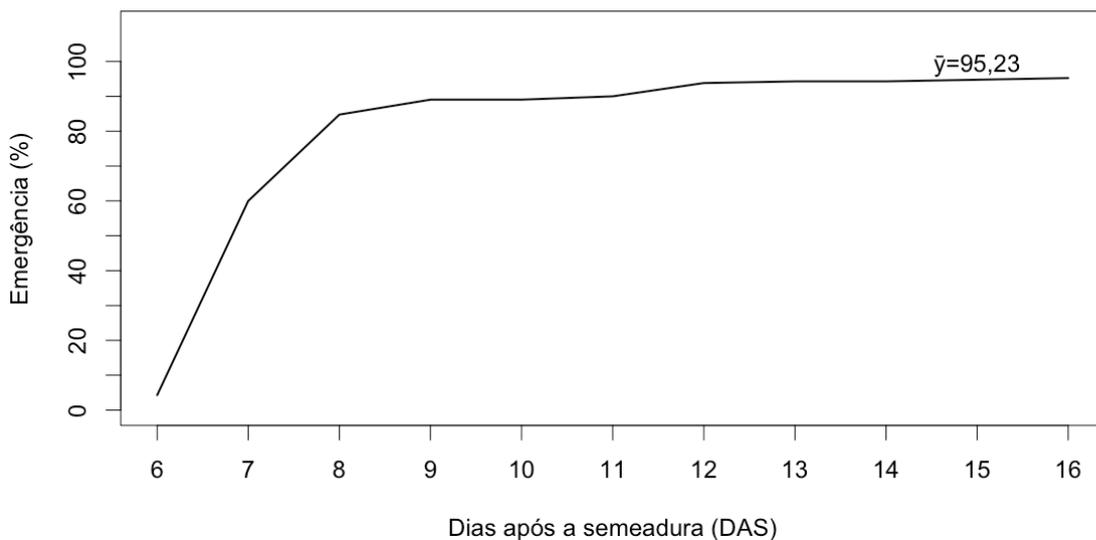
<sup>ns</sup>Não significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. CV, coeficiente de variação.

**Tabela 3.** Porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência de sementes de *C. rosea* sob diferentes substratos e adubação química.

Adubação	Emergência (%)			Índice Velocidade Emergência (sementes dia <sup>-1</sup> )		
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média
A <sub>0</sub>	95,24	90,48	92,86 a	5,59	4,91	5,25 a
A <sub>1</sub>	95,24	100,00	97,61 a	5,98	5,79	5,89 a
A <sub>2</sub>	100,00	90,48	95,24 a	5,96	5,57	5,77 a
A <sub>3</sub>	100,00	90,48	95,24 a	5,92	5,45	5,68 a
A <sub>4</sub>	100,00	90,48	95,24 a	5,96	5,52	5,74 a
Média	98,09 A	92,37 A	95,23	5,88 A	5,45 A	5,67

S<sub>1</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 2:1:1; S<sub>2</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 1:2:1; A<sub>0</sub> = sem adubação; A<sub>1</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples; A<sub>2</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12; A<sub>3</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08; A<sub>4</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08 + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, e maiúscula, na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O índice de velocidade de emergência médio, observado nos substratos testados, foi de 5,67 sementes dia<sup>-1</sup> (Tabela 3), iniciando a emergência das plântulas seis dias após a semeadura, corroborando com o estudo de caracterização da espécie feito por Gonçalves et al. (2008), atingindo emergência acima de 80% oito dias após a semeadura. Dezesesseis dias após a semeadura finalizou-se a avaliação da emergência, com 95,23% das plântulas emergidas (Figura 2).



**Figura 2.** Porcentagem de emergência de mudas de *C. rosea* cultivadas sob diferentes substratos e adubação química.

A alta velocidade de germinação seguida pela emergência das plântulas são características de interesse na produção de mudas, pois quanto mais rápida a emergência da plântula, menos vulnerável ela estará às adversidades do ambiente (MARTINS et al., 2012), possibilitando a obtenção de mudas vigorosas em um curto período de tempo.

A altura das mudas permite aferir o crescimento inicial no campo, sendo considerada como um dos parâmetros mais antigos para a classificação e seleção de mudas, e quando utilizada isoladamente, mostra-se eficiente para estimar o padrão de qualidade de mudas nos viveiros, por ser uma variável não destrutiva e de fácil mensuração (PARVIAINEN, 1981; MEXAL e LANDS, 1990; GOMES et al., 2002).

Dentre os níveis de substratos estudados, a mistura areia:argila:fibra de coco na proporção 1:2:1 (S<sub>2</sub>), proporcionou mudas com média estatisticamente superior ao substrato S<sub>1</sub>, alcançando 14,87 cm de altura (Tabela 4). Solos argilosos apresentam maior superfície específica e, conseqüentemente, maior capacidade de troca de

cátions (DING et al., 2014). Sendo assim, o substrato mais argiloso (S<sub>2</sub>), expressou melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados.

Quando analisamos o fator adubo, observamos que os níveis adubados (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> e A<sub>4</sub>), apresentaram médias estatisticamente superior ao nível A<sub>0</sub>. Os substratos com superfosfato simples (A<sub>1</sub>), superfosfato simples + micronutrientes (A<sub>2</sub>), NPK 4-14-8 (A<sub>3</sub>) e NPK 4-14-8 + micronutrientes (A<sub>4</sub>), foram estatisticamente iguais entre si (Tabela 4). Esse resultado era esperado, pois a quantidade de fósforo foi mantida, embora tenha alterado o adubo ou acrescentado micronutrientes. Hellal et al. (2019) relatam que o fósforo é importante para o crescimento e metabolismo das plantas e que sua deficiência restringe o crescimento de plantas. Quando observamos o crescimento inferior de *C. rosea* no substrato sem a adição de nutrientes (A<sub>0</sub>), podemos inferir que o nutriente limitante para o crescimento das mudas foi o P, visto que os substratos que apresentavam N, K e micronutrientes apresentaram desenvolvimento similar ao que continham apenas P.

Ramos et al. (2000), avaliando o desenvolvimento de mudas de *Bauhinia forficata* em resposta a fertilização de nitrogênio, fósforo e potássio, observaram efeito positivo do fósforo para todas as características avaliadas, destacando-se no desenvolvimento das mudas, seguido do N e do K. Brondani et al. (2008), observaram que mudas de *B. forficata* requerem níveis elevados de fósforo para o seu crescimento inicial no cultivo em tubetes, e que o fósforo no substrato contribuiu para o acúmulo de P, K e N na maioria dos tecidos.

**Tabela 4.** Altura da muda e diâmetro do coleto de mudas de *C. rosea* cultivadas sob diferentes substratos e adubação química, 45 dias após a semeadura.

Adubação	Altura da muda (cm)			Diâmetro do coleto (mm)		
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média
A <sub>0</sub>	9,25	8,94	9,09 b	3,39	3,55	3,47 a
A <sub>1</sub>	14,79	16,37	15,58 a	3,53	3,55	3,54 a
A <sub>2</sub>	12,15	16,05	14,10 a	3,43	3,61	3,52 a
A <sub>3</sub>	14,02	15,79	14,90 a	3,55	3,56	3,55 a
A <sub>4</sub>	13,29	17,20	15,24 a	3,47	3,48	3,47 a
Média	12,70 B	14,87 A	13,78	3,47 A	3,55 A	3,51

S<sub>1</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 2:1:1; S<sub>2</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 1:2:1; A<sub>0</sub> = sem adubação; A<sub>1</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples; A<sub>2</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12; A<sub>3</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08; A<sub>4</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08 + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, e maiúscula, na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como a altura da parte aérea, o diâmetro do coleto é um método de fácil mensuração e não destrutível, considerado uma das características mais importantes para indicar a capacidade de sobrevivência de mudas florestais em campo (CARNEIRO, 1995; GOMES et al., 2002; SOUZA et al., 2006), podendo auxiliar na definição de doses de fertilizantes para a produção de mudas (DANIEL et al., 1997).

Os tratamentos testados não diferiram significativamente quanto ao diâmetro do coleto, apresentando diâmetro médio de 3,51 mm (Tabela 4). Isso indica que as mudas oriundas de qualquer substrato testado neste trabalho podem apresentar alta capacidade de sobrevivência e crescimento em campo.

Para Gonçalves et al. (2000), o diâmetro do coleto apropriado para mudas de espécies florestais, deve estar entre 5 e 10 mm, faixa superior a encontrada neste estudo. Porém, sabe-se que o desenvolvimento de espécies florestais é muito variável, podendo ser uma característica morfológica intrínseca dessa espécie, indicando que esses valores propostos não sejam aplicáveis à *C. rosea*, assim como encontrado por Delarmelina et al. (2014), para *Sesbania virgata*.

O bom suprimento de K no substrato contribui para o aumento do diâmetro do coleto da muda (GOMES et al., 2013), promove o engrossamento do caule e a abertura estomática (VALERI e CORRADINI, 2005). Embora os autores supracitados tenham comprovado isso em seus resultados, essa relação não foi observada na produção de mudas de *C. rosea*, já que os tratamentos com adição de K (A<sub>3</sub> e A<sub>4</sub>) apresentaram médias estatisticamente iguais aos demais tratamentos.

Para as variáveis número de folhas e área foliar das mudas, o nível S<sub>2</sub> do substrato apresentou as melhores médias, com aproximadamente 4 folhas e 180,06 cm<sup>2</sup>, respectivamente (Tabela 5). Com relação aos adubos testados, os níveis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, e A<sub>4</sub> apresentaram médias superiores estatisticamente ao nível A<sub>0</sub>, para ambas as variáveis (Tabela 5), esse resultado pode estar relacionado ao aporte nutricional nas mudas.

Redução do porte da muda, do número de folhas e da área foliar estão relacionadas a deficiência de fósforo, limitando assim a produção de fotoassimilados e a emergência das raízes, afetando diretamente a absorção dos nutrientes (BONFIM-SILVA et al., 2011).

**Tabela 5.** Número de folhas e área foliar de mudas de *C. rosea* cultivadas sob diferentes substratos e adubação química, 45 dias após a semeadura.

Adubação	Número de folhas			Área foliar (cm <sup>2</sup> )		
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média
A <sub>0</sub>	3,67	3,44	3,56 b	122,67	123,23	122,95 b
A <sub>1</sub>	4,04	4,52	4,28 a	156,72	193,38	175,05 a
A <sub>2</sub>	4,20	4,35	4,27 a	154,40	185,01	169,70 a
A <sub>3</sub>	4,16	4,44	4,30 a	165,49	188,65	177,06 a
A <sub>4</sub>	4,24	4,63	4,44 a	158,06	210,05	184,06 a
Média	4,06 B	4,28 A	4,17	151,47 B	180,06 A	165,76

S<sub>1</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 2:1:1; S<sub>2</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 1:2:1; A<sub>0</sub> = sem adubação; A<sub>1</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples; A<sub>2</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12; A<sub>3</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08; A<sub>4</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08 + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, e maiúscula, na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à massa seca da parte aérea, em que foi verificada interação significativa entre os fatores substrato e adubo (Tabela 2), nota-se que o substrato S<sub>1</sub> foi inferior ao substrato S<sub>2</sub> nos níveis A<sub>2</sub> e A<sub>4</sub>, evidenciando que a adição de micronutrientes não apresentou efeito significativo na massa seca da parte aérea de mudas de *C. rosea* no substrato com maior fração de areia.

Os micronutrientes embora requeridos em menores quantidades pelas plantas são essenciais para o seu desenvolvimento. Dentre os micronutrientes presentes no FTE BR12 tem-se, o boro, desempenhando um papel no alongamento celular, na síntese de ácidos nucleicos, nas respostas hormonais, na função da membrana e na regulação do ciclo celular; o zinco, sendo necessário para a atividade de muitas enzimas e sendo exigido para a biossíntese de clorofila; o manganês, ativando várias enzimas nas células vegetais, dentre elas as descarboxilases e as desidrogenases, envolvidas no ciclo do ácido cítrico, ativadas pelos íons manganês; e o cobre, associado a enzimas envolvidas em reações redox, como por exemplo a plastocianoína, que está envolvida na transferência de elétrons durante as reações dependentes de luz da fotossíntese (TAIZ et al., 2017).

Estudando os adubos dentro de cada nível de substrato na massa seca da parte aérea, constatou-se que no substrato S<sub>1</sub>, os níveis de adubo foram iguais estatisticamente, e no substrato S<sub>2</sub> o nível de adubo A<sub>0</sub> (1,33 g) apresentou média inferior aos demais níveis (Tabela 6). Os tratamentos que proporcionaram as maiores médias de massa seca da parte aérea, foram S<sub>1</sub>A<sub>0</sub> (1,44 g), S<sub>1</sub>A<sub>1</sub> (1,75 g), S<sub>1</sub>A<sub>3</sub> (1,69

g), S<sub>2</sub>A<sub>1</sub> (1,77 g), S<sub>2</sub>A<sub>2</sub> (2,00 g), S<sub>2</sub>A<sub>3</sub> (1,80 g), S<sub>2</sub>A<sub>4</sub> (2,01 g). Plantas com nutrição adequada apresentam maiores reservas de matéria seca na parte aérea (SHUMACHER et al., 2004).

Os solos arenosos são pobres quimicamente, pois apresentam baixa capacidade de troca de cátions e reduzida área de superfície específica, acarretando menor tendência a retenção de água e elevada perda de nutrientes por lixiviação (USOWICZ et al., 2004; ŠIMANSKÝ et al., 2019). Isso pode explicar o ocorrido com o desenvolvimento insatisfatório do substrato com maior fração de areia (S<sub>1</sub>), nas variáveis altura de planta, número de folhas, área foliar e massa seca da parte aérea.

**Tabela 6.** Massa seca da parte aérea e massa seca da raiz de mudas de *C. rosea* cultivadas sob diferentes substratos e adubação química, 45 dias após a semeadura.

Adubação	Massa seca da parte aérea (g)			Massa seca da raiz (g)		
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média
A <sub>0</sub>	1,44 Aa	1,33 Ab	1,38	0,71	0,69	0,70 a
A <sub>1</sub>	1,75 Aa	1,77 Aa	1,76	1,04	0,93	0,99 a
A <sub>2</sub>	1,55 Ba	2,00 Aa	1,77	1,02	0,87	0,94 a
A <sub>3</sub>	1,69 Aa	1,80 Aa	1,74	1,02	1,04	1,03 a
A <sub>4</sub>	1,56 Ba	2,01 Aa	1,78	0,86	0,94	0,90 a
Média	1,60	1,78	1,69	0,93 A	0,89 A	0,91

S<sub>1</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 2:1:1; S<sub>2</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 1:2:1; A<sub>0</sub> = sem adubação; A<sub>1</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples; A<sub>2</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12; A<sub>3</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08; A<sub>4</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08 + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, e maiúscula, na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De modo geral, os tratamentos testados não exerceram efeito sobre a massa seca da raiz, com média geral de 0,91 g (Tabela 6). Melhores condições para o estabelecimento de mudas, aquisição de nutrientes e água, podem ser obtidas com o maior desenvolvimento do sistema radicular. Assim, em situações de escassez temporária de recursos, a espécie é capaz de tolerar por mais tempo as adversidades presentes no campo (REIS et al., 2012).

Na variável massa seca total os fatores foram estudados separadamente. Constatou-se que ambos os níveis de substratos, S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub>, foram semelhantes estatisticamente. Quanto ao adubo, os níveis A<sub>1</sub> (2,75 g), A<sub>2</sub> (2,72 g), A<sub>3</sub> (2,77 g) e A<sub>4</sub> (2,69 g) proporcionaram melhores médias de massa seca total, diferindo

estatisticamente de A<sub>0</sub>, com média de 2,09 g (Tabela 7), evidenciando assim a importância da nutrição para a massa seca das plantas.

Avaliando mudas de *Samanea inopinata*, Cruz et al. (2006) relataram que se deve levar em consideração para produzir mudas de qualidade a massa seca total, e que, quanto maior o valor, melhor, podendo-se inferir que os níveis A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, e A<sub>4</sub> proporcionaram mudas com maior capacidade de sobrevivência em campo.

**Tabela 7.** Massa seca total e índice de qualidade de Dickson de mudas de *C. rosea* cultivadas sob diferentes substratos e adubação química, 45 dias após a semeadura.

Adubação	Massa seca total (g)			Índice de qualidade de Dickson		
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Média
A <sub>0</sub>	2,15	2,02	2,09 b	0,45	0,46	0,46 a
A <sub>1</sub>	2,80	2,70	2,75 a	0,46	0,41	0,44 a
A <sub>2</sub>	2,57	2,87	2,72 a	0,50	0,43	0,47 a
A <sub>3</sub>	2,71	2,83	2,77 a	0,48	0,46	0,47 a
A <sub>4</sub>	2,43	2,95	2,69 a	0,43	0,42	0,42 a
Média	2,53 A	2,67 A	2,60	0,47 A	0,44 A	0,45

S<sub>1</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 2:1:1; S<sub>2</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 1:2:1; A<sub>0</sub> = sem adubação; A<sub>1</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples; A<sub>2</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12; A<sub>3</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08; A<sub>4</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08 + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, e maiúscula, na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O índice de qualidade de Dickson vem sendo utilizado como um bom indicador de qualidade de mudas, pois leva em consideração características morfológicas da muda (DIAS et al., 2016), dando noções da robustez (relação H/D) e do equilíbrio de distribuição da biomassa (relação MSPA/MSR) das mudas (FONSECA et al., 2002), com maiores chances de sobrevivência após o transplante (BINOTTO et al., 2010).

Não apresentando significância para este índice, a média do IQD encontrada nos tratamentos testados foi de 0,45 (Tabela 7). Dessa forma é possível constatar que em todos os níveis testados as mudas apresentaram um bom padrão de qualidade, superior a 0,2, o qual é recomendado por Hunt (1990) para espécies florestais. Embora todos os níveis de substrato e adubo tenham produzidos mudas de qualidade, há destaque para o nível de substrato S<sub>2</sub>, e os níveis de adubação A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, e A<sub>4</sub>, pois estes apresentaram altura, número de folhas, área foliar e massa seca total estatisticamente superior aos demais níveis, e quando houve interação para massa

seca da parte aérea, os tratamentos S<sub>2</sub>A<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>A<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>A<sub>3</sub> e S<sub>2</sub>A<sub>4</sub> também apresentaram médias superiores.

Para determinar o ponto de transplante de mudas viveiristas tem utilizado com eficiência a altura da planta, como critério para estimar sua qualidade (GOMES et al., 2002). Contudo, mudas com porte mais elevado, número de folhas, área foliar e massa seca satisfatórias asseguram maior sobrevivência e crescimento inicial no campo.

Analisando o custo de produção dos substratos, verifica-se que o menor custo de produção foi do substrato areia:argila:fibra de coco na proporção 1:2:1 (S<sub>2</sub>), custando R\$ 63,47 m<sup>-3</sup>, cerca de 9% mais barato que a mistura areia:argila:fibra de coco na proporção 2:1:1 (S<sub>1</sub>). Dentre os níveis de adubos testados o que apresentou custo mais elevado foi o substrato adubado com NPK 4-14-8 + FTE BR12 (A<sub>4</sub>), R\$ 3,68 m<sup>3</sup>, cerca de 124% mais caro que o substrato adubado com superfosfato simples, A<sub>1</sub> (R\$ 1,64 m<sup>3</sup>). Embora o nível A<sub>0</sub> (sem adição de nutrientes) seja de baixo custo, não se recomenda por não promover um bom desenvolvimento das mudas (Tabela 8). Além do custo de produção do substrato, é importante levar em consideração a qualidade das mudas (SIMÕES et al., 2012).

**Tabela 8.** Custo por metro cúbico dos dez tratamentos utilizados, com base nos valores de compra para o ano de 2018, na região de São Mateus-ES.

Tratamentos	Custo do substrato/m <sup>3</sup> (R\$)	Custo do adubo/m <sup>3</sup> de substrato (R\$)	Custo total/m <sup>3</sup> (R\$)
S <sub>1</sub> A <sub>0</sub>	R\$ 69,72	R\$ 0,00	R\$ 69,72
S <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	R\$ 69,72	R\$ 1,64	R\$ 71,35
S <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	R\$ 69,72	R\$ 1,88	R\$ 71,60
S <sub>1</sub> A <sub>3</sub>	R\$ 69,72	R\$ 3,44	R\$ 73,15
S <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	R\$ 69,72	R\$ 3,68	R\$ 73,40
S <sub>2</sub> A <sub>0</sub>	R\$ 63,47	R\$ 0,00	R\$ 63,47
S <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	R\$ 63,47	R\$ 1,64	R\$ 65,10
S <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	R\$ 63,47	R\$ 1,88	R\$ 65,35
S <sub>2</sub> A <sub>3</sub>	R\$ 63,47	R\$ 3,44	R\$ 66,90
S <sub>2</sub> A <sub>4</sub>	R\$ 63,47	R\$ 3,68	R\$ 67,15

\* US\$ 1.00 = R\$ 3,85; S<sub>1</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 2:1:1; S<sub>2</sub> = substrato com mistura de areia + argila + fibra de coco na proporção 1:2:1; A<sub>0</sub> = sem adubação; A<sub>1</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples; A<sub>2</sub> = adubado com 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12; A<sub>3</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08; A<sub>4</sub> = adubado com 1,93 kg m<sup>-3</sup> de NPK 04-14-08 + 150 g m<sup>-3</sup> FTE BR12.

Em ambiente de restinga, Lourenço Junior e Cuzzuol (2009) verificaram que *C. rosea* é mais exigente nutricionalmente na absorção de N e K do que de P. Este resultado não foi observado neste estudo, pois somente a adubação com o fertilizante superfosfato simples (fonte de P) no substrato foi suficiente para um bom desenvolvimento da muda em casa de vegetação. De acordo com Lambers et al. (1998), quando espécies nativas adaptadas a ambientes com baixa fertilidade são subordinadas a elevados níveis nutricionais, elas acumulam os nutrientes ao invés de alocá-los para o crescimento, utilizando-os somente em ambiente com condições nutricionais limitantes. Ainda segundo os autores, são evidências de estratégias adaptativas desenvolvidas por essas plantas para sobreviverem em ambientes com baixa fertilidade.

O substrato contendo a mistura areia:argila:fibra de coco na proporção 1:2:1, é recomendado para a produção de mudas de *C. rosea* por proporcionar melhor desenvolvimento das mudas e atributos químicos e físicos desejáveis, e ainda apresenta como vantagem um custo de produção menor quando comparado ao S<sub>1</sub>. E com relação à adubação no substrato indica-se a adubação com superfosfato simples pois além de apresentar desenvolvimento similar aos substratos nutridos com superfosfato simples + micronutrientes, NPK 04-14-08 e NPK 04-14-08 + micronutrientes, produz mudas de qualidade e com custo de produção relativamente baixo. Porém, são necessários trabalhos futuros para identificar se as demais adubações favorecem o desenvolvimento de *C. rosea* pós-plantio em áreas de baixa fertilidade, conforme a teoria de Lambers et al. (1998), apresentada anteriormente.

#### **1.1.4 Conclusões**

O substrato areia:argila:fibra de coco na proporção 2:1:1 influenciou negativamente o crescimento das mudas de *Canavalia rosea*, enquanto que o substrato na proporção 1:2:1 influenciou positivamente e ainda apresentou menor custo de produção.

Mesmo apresentando custo reduzido, o substrato sem adição de nutrientes não é recomendado para a produção de mudas de *C. rosea*, pois não possibilita adequado desenvolvimento das mudas.

Entre os níveis de adubação testados recomenda-se utilizar no substrato 1,5 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples para produzir mudas de qualidade e com baixo custo.

## Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- BINOTTO, A.F.; LÚCIO, A.D.; LOPES, S.J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v.16, n.4, p.457-464, 2010. DOI: 10.1590/S0104-77602010000400005
- BONFIM-SILVA, E.M.; SILVA, T.J.A.; CABRAL, C.E.A.; GONÇALVES, J.M.; PEREIRA, M.T.J. Produção e morfologia da leguminosa Java submetida a adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, p.1-10, 2011.
- BRONDANI, G.E.; SILVA, A.J.C.; ARAUJO, M.A. DE; GROSSI, F.; WENDLING, I.; CARPANEZZI, A.A. Phosphorus nutrition in the growth of *Bauhinia forficata* L. seedlings. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, p.665-671, 2008. DOI: 10.1590/S1807-86212008000500010
- CARNEIRO, J.G.A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF/UENF, 1995. 451p.
- CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.4, p.533-535, 2002. DOI: 10.1590/S0102-05362002000400003
- COSTA, M.C. DA; ALBUQUERQUE, M.C. DE F.; ALBRECHT, J.M.F.; COELHO, M. DE F.B. Substratos para produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p.19-24, 2005. DOI: 10.5216/pat.v35i1.2280
- COSTA; T.S.; AOYAMA, E.M.; FALQUETO, A.R. Superação de dormência e salinidade na germinação de sementes e vigor de plântulas de *Canavalia rosea* (Sw.) DC. – Fabaceae. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.11, n.1, p.77-87, 2013.
- CRUZ, C.A.F.; PAIVA, H.N. DE; GUERRERO, C.R.A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de Sete-Cascas [*Samanea inopinata* (Harms) Ducke]. **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.537-546, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000400006
- DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; ALOISI, A. A.; MAZZOCHIN, L.; TOKURA, A. M.; PINHEIRO, E. R.; SOUZA, E. F. Aplicação de fosforo em mudas de *Acacia mangium*. **Revista Árvore**, v.21, p.163-168, 1997.
- DELARMELINA, W.M.; CALDEIRA, M.V.W.; FARIA, J.C.T.; GONÇALVES, E. DE O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes Substratos para a Produção de Mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.2, p.224-233, 2014. DOI: 10.4322/loram.2014.027
- DIAS, I.M.; BARRETO, Í.D. DE C.; FERREIRA, R. A. Efeito de dosagens de fertilizante fosfatado na determinação de volume ótimo de produção de mudas de espécies florestais nativas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.15, n.4, p.471-475, 2016. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v15n4p471-475

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v.36, p.10-13, 1960. DOI: 10.5558/tfc36010-1

DING, F.; HUANG, Y.; SUN, W.; JIANG, G.; CHEN, Y. Decomposition of organic carbon in fine soil particles is likely more sensitive to warming than in coarse particles: an incubation study with temperate grassland and forest soils in Northern China. **PLoS one**, v.9, n.4, p.239-246, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0095348

ELOY, E.; CARON, B.O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Revista Floresta**, v.43, n.3, p.372-384, 2013. DOI: 10.5380/rf.v43i3.26809

FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. **ExpDes.pt: Experimental Designs Package (Portuguese)**. R package version 1.2.0, 2018. <https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>

FONSECA, E.P.; VALÉRI, S.V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N.A.N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.515-523, 2002. DOI: 10.1590/S0100-67622002000400015

GOMES, D.R.; CALDEIRA, M.V.W.; DELARMELINA, W.M.; GONÇALVES, E.O.; TRAZZI, P.A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, v.19, n.1, p.123-131, 2013. DOI: 10.1590/S0104-77602013000100015

GOMES, J.M.; COUTO, L., LEITE H.G., XAVIER, A.; GARCIA, S.L.R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.655-664, 2002. DOI: 10.1590/S0100-67622002000600002

GONÇALVES, I.P.; GAMA, M. DA C.; CORREIA, M.C.R.; LIMA, H.A. DE. Caracterização dos frutos, sementes e germinação de quatro espécies de leguminosas da restinga de Maricá, Rio de Janeiro. **Rodriguésia**, vol.59, n.3, p.497-512, 2008. DOI: 10.1590/2175-7860200859307

GONÇALVES, J.L.M.; SANTARELLI, E.G.; MORAES, S.P. DE; MANARA, M.P.; STAPE, J.L. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; Benedetti, V. (editors). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.309-350.

HELLAL, F.; EL-SAYED, S.; ZEWAINY, R.; AMER, A. Importance of phosphate pock application for sustaining agricultural production in Egypt. **Bulletin of the National Research Centre**, v.43, n.11, p.1-11, 2019. DOI: 10.1186/s42269-019-0050-9

HUNT, G.A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: Target seedling symposium, meeting of the western forest nursery associations, general technical report, USDA, 1990, Oregon. **Proceedings...** Oregon/USDA, p.218-222, 1990.

LAMBERS, J.; CHAPIN, F.S.; PONS, T.L. **Plant Physiological Ecology**. Springer-Verlang, New York, 1998. 540p.

- LOURENÇO JUNIOR, J.; CUZZUOL, G.R.F. Caracterização de solos de duas formações de restinga e sua influência na constituição química foliar de *Passiflora mucronata* Lam. (Passifloraceae) e *Canavalia rosea* (Sw.) DC. (Fabaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v.23, n.1, 2009. DOI: 10.1590/S0102-33062009000100025
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p. 176-177, 1962. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
- MARANA, J.P.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, É. DE P. Qualidade de mudas de jaracatiá submetidas a diferentes períodos de sombreamento em viveiro. **Revista Árvore**, v.39, n.2, p.275-282, 2015. DOI: 10.1590/0100-67622015000200007
- MARTINS, C.C.; BORGES, A. DA S.; PEREIRA, M.R.R.; LOPES, M.T.G. Posição da semente na semeadura e tipo de substrato sobre a emergência e crescimento de plântulas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake. **Ciência Florestal**, v.22, n.4, p.845-852, 2012. DOI: 10.5902/198050987565
- MEXAL, J.L.; LANDIS, T.D. Target seedling concepts: height and diameter. *In*: Target seedling symposium, meeting of the western forest nursery associations, general technical report RM-200, 1990, Roseburg. **Proceedings**. Fort Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, p.17-35, 1990.
- MOHAJER, S.; TAHA, R.M.; MOHAMED, N.; RAZAK, U.N.A. Baybean (*Canavalia rosea* (Sw.) DC.); organogenesis, morphological and anatomical studies. **Gayana Botânica**, v.74, n.1, p.120-130, 2017. DOI: 10.4067/S0717-66432017005000321.
- NATALE, W.; LIMA NETO, A.J. DE; ROZANE, D.E; PARENT, L.E. Mineral nutrition evolution in the formation of fruit tree rootstocks and seedlings. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.40, n.6, p.1-15, 2018. DOI: 10.1590/0100-29452018133
- PARVIAINEN, J.V. Qualidade e avaliação de qualidade de mudas florestais. *In*: Seminário de sementes e viveiros florestais, 1., 1981, Curitiba. **Anais**. Curitiba: FUPEF, 1981. p.59-90.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. Ed., Piracicaba: Fealq, 2009. 451p.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. <https://www.R-project.org/>
- RAMOS, M.R.; PINTO, J.E.P.B.; FURTINI NETO, A.E.; DAVIDE, A.C. Influência da aplicação de nitrogênio, fosforo e potássio no crescimento e composição mineral de mudas de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.3, n.1, p.79-86, 2000.
- REIS, B.E. DOS; PAIVA, H.N. DE; BARROS, A.L.F.; CARDOSO, W. DA C. Crescimento e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth.) em resposta à adubação com potássio e enxofre. **Ciência Florestal**, v.22, n.2, p.389-396, 2012. DOI: 10.5902/198050985746
- SCHINDELIN, J.; RUEDEN, C.T.; HINER, M.C.; ELICEIRI, K.W. The ImageJ Ecosystem: An Open Platform for Biomedical Image Analysis. **Molecular**

**Reproduction and Development**, v.82, n.7-8, p.518–529, 2015. DOI: 10.1002/mrd.22489

SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico vermelho (*Parapiptadenia rígida* (Bentham). Brenan). **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.149-155, 2004. DOI: 10.1590/S0100-67622004000100019

SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, C.; MENEGUCCI, Z. DOS R.H.; SOUZA, P.R. **Produção de mudas de espécies florestais nativas: manual**. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 2006. 56p.

SILVA, R.B. E; MATOS, V.P.; FARIAS, S.G.G. DE; SENA, L.H. DE M.; SILVA, D.Y.B. DE O. Germinação e vigor de plântulas de *Parkia platycephala* Benth. em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.1, p.142-150, 2017. DOI: 10.5935/1806-6690.20170016

ŠIMANSKÝ, V.; JURIGA, M.; JONCZAK, J.; UZAROWICZ, Ł.; STEPIEŃET, W. How relationships between soil organic matter parameters and soil structure characteristics are affected by the long-term fertilization of a sandy soil. **Geoderma**, v.342, p.75-84, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.02.020

SIMÕES, D.; SILVA, R.B.G.; SILVA, M.R. Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Ciência Florestal**, v.22, n.1, p.91-100, 2012. DOI: 10.5902/198050985082

SOUZA, C.A.M.; OLIVEIRA, R.B.; LIMA, J.S.S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubação. **Ciência Florestal**, v.16, n.3, p.243-249, 2006. DOI: 10.5902/198050981905

SRIDHAR, K.R.; BHAGYA, B. Coastal sand dune vegetation: A potential source of food, fodder and pharmaceuticals. **Livestock Research for Rural Development**, v.19, n.6, p.84, 2007.

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

USOWICZ, B.; HAJNOS, M.; SOKOŁOWSKA, Z.; JOZEFACIUK, G.; BOWANKO, G.; KOSSOWSKI, J. Spatial variability of physical and chemical soil properties in a field and commune scale. **Acta Agrophysica**, v.103, p.237–247, 2004.

VALERI, S.V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para a produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. (editors). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p.167-190.

YAMANISHI, O.K.; FAGUNDES, G.R.; MACHADO FILHO, J.A.; VALONE, G.V. Efeito de diferentes substratos e duas formas de adubação na produção de mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.2, p.276-279, 2004. DOI: 10.1590/S0100-29452004000200023

## Apêndice



**Figura 1.** Casa de vegetação utilizada para a produção das mudas de *Canavalia rosea*.



**Figura 2.** Início da emergência de *Canavalia rosea*, com parcelas dispostas em delineamento em blocos casualizados.



**Figura 3.** Tubete com 290 cm<sup>3</sup> utilizado (A) e exemplo do agregado formado pelo substrato (B).

## 1.2 PREPARO DE SOLO E ADUBAÇÃO COM NPK NO PLANTIO DE CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA EM ÁREA DE EXTRAÇÃO DE ARGILA

### Resumo

A ocorrência de áreas degradadas no mundo é crescente a cada ano e medidas necessitam ser tomadas para mitigar a degradação e recuperar estas áreas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do preparo de solo e de níveis de NPK sobre o crescimento de cinco espécies nativas da Mata Atlântica, com intuito de recuperar uma área degradada pela extração de argila. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjados em parcelas sub-subdivididas, sendo as parcelas principais constituídas por dois tipos de preparo de solo: subsolagem e escarificação; as subparcelas, por cinco doses de NPK 04-14-08: 0; 40; 80; 160 e 320 g cova<sup>-1</sup>, e as sub-subparcelas por cinco espécies nativas da Mata Atlântica. Foram avaliados taxa de crescimento absoluto, diâmetro do coleto e número de folhas, 210 dias após o plantio. O tipo de preparo de solo não influenciou o desenvolvimento das espécies. Para *Dalbergia ecastaphyllum*, *Inga laurina*, *Protium heptaphyllum* e *Psidium cattleyanum* as doses de 176,49, 150,18, 199,25 e 166,48 g cova<sup>-1</sup> de NPK, respectivamente, são indicadas. *Schinus*

*terebinthifolius* foi altamente responsiva à adubação no plantio, indicando-se a dose de 320 g cova<sup>-1</sup> de NPK. Todas as espécies são indicadas para recuperação da área.

**Palavras-chave:** adubação química, revegetação, recuperação de áreas degradadas, áreas de mineração, jazidas de argila.

## Abstract

The occurrence of degraded areas worldwide grows each year and measures must be taken to mitigate degradation and to recover these areas. The aim of this study was to assess the effect of soil preparation and NPK levels on the growth of five native species of the Atlantic Rainforest in order to recover a degraded area by clay extraction. The experimental design was randomized blocks with four replications. Treatments were arranged into sub-subdivided plots, with the main ones constituted by two kinds of soil preparation: subsoiling and scarification; subplots by five doses of NPK 04-14-08: 0; 40; 80; 160; and 320 g pit<sup>-1</sup>, and sub-subplots by five Atlantic Rainforest native species. Absolute growth rate, stem diameter and number of leaves were evaluated, 210 days after planting. The type of soil preparation did not influence the development of the species. For *Dalbergia ecastaphyllum*, *Inga laurina*, *Protium heptaphyllum* and *Psidium cattleianum* the doses of 176.49, 150.18, 199.25 and 166.48 g pit<sup>-1</sup> of NPK, respectively, are indicated. *Schinus terebinthifolius* was highly responsive to plantating fertilization, being recommended 320 g pit<sup>-1</sup> of NPK. All species are indicated for area recovery.

**Keywords:** chemical fertilization, revegetation, recovery of degraded areas, mining areas, clay deposits.

### 1.2.1 Introdução

A preocupação com a preservação dos recursos naturais e do ambiente é notória nos dias de hoje, face à demanda pelo desenvolvimento sustentável, buscando equilíbrio entre as questões econômicas, ambientais e sociais. Apesar das rígidas normas de precaução adotadas, empresas que exploram recursos naturais não renováveis, como por exemplo petróleo, podem causar impactos negativos significativos para o ambiente.

A ocorrência de áreas degradadas no mundo é crescente, e no Brasil, o cenário não é diferente. Extensas áreas encontram-se degradadas basicamente por atividades antrópicas resultantes de exploração de recursos naturais, causando remoção da camada fértil do solo e exposição dos horizontes de baixa fertilidade (REIS, 2006; MACHADO et al. 2013). De acordo com Oliveira e Souto (2011), esse tipo de degradação é a mais severa, gerando impactos ambiental, político, cultural, sociais e econômico.

Dentre os impactos ambientais destaca-se a remoção da camada fértil do solo em áreas de extração de argila. A argila é utilizada para terraplanagem de locações operacionais, construção e recuperação de estradas de acesso e aterro em diversas etapas de atividades industriais, incluindo a produção de óleo e gás natural. A utilização da argila como recurso mineral resulta em degradação ambiental, com supressão da vegetação ou impedimento de sua regeneração, remoção da matéria orgânica do solo e também dos horizontes subsuperficiais, dando origem a paisagens degradadas (SCHIAVO et al., 2007; SILVA et al., 2012; MECCHI e SANCHES, 2010).

Os solos encontrados nas cavas de extração de argila apresentam-se desfavoráveis para o desenvolvimento de espécies, principalmente as não-fixadoras de N, pois apresentam características químicas, físicas e microbiológicas inadequadas para o desenvolvimento das mesmas (SCHIAVO et al., 2009). Em um experimento desenvolvido em jazidas de piçarra na Caatinga utilizada pela extração de petróleo, Lima et al. (2015) observaram que as espécies de leguminosas arbóreas nodulantes apresentaram maiores taxas de sobrevivência e crescimento em relação às espécies não nodulantes.

Em áreas de mineração o nitrogênio, fósforo e o potássio são os três principais macronutrientes encontrados em deficiência. Assim, os solos recém minerados necessitam de aplicações significativas de fertilizantes para o estabelecimento e

manutenção das espécies a serem implantadas (SHEORAN et al., 2010). Silva (2018) demonstrou que os substratos das áreas utilizadas pelas atividades de petróleo e gás natural na Caatinga apresentaram menores estoques de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, quando comparados com os solos das áreas nativas, evidenciando também a importância do uso de nutrientes para o desenvolvimento das espécies. Além da baixa fertilidade, as cavas formadas pela extração de argila são extremamente compactadas, sendo necessário o uso de técnicas que possibilitem o desenvolvimento das espécies.

Uma das formas de recuperação dessas jazidas de argila é a revegetação com espécies nativas do bioma. Essa técnica requer a seleção de espécies adequadas, que suportem as condições da área e acelerem a reconstituição do processo de sucessão natural (SHEORAN et al., 2010; JESUS et al., 2016). O revolvimento do solo e a aplicação de doses crescentes de NPK podem favorecer o processo de revegetação. Considerando que espécies florestais nativas apresentam exigências nutricionais distintas e que há carência de estudos correlacionando o desenvolvimento dessas plantas com a adubação química, faz-se necessário experimentos que busquem compreender essa relação em áreas degradadas com baixa fertilidade.

Assim, objetivou-se por este trabalho avaliar a influência do preparo de solo e de níveis de NPK sobre o crescimento de cinco espécies nativas da Mata Atlântica em área degradada pela extração de argila.

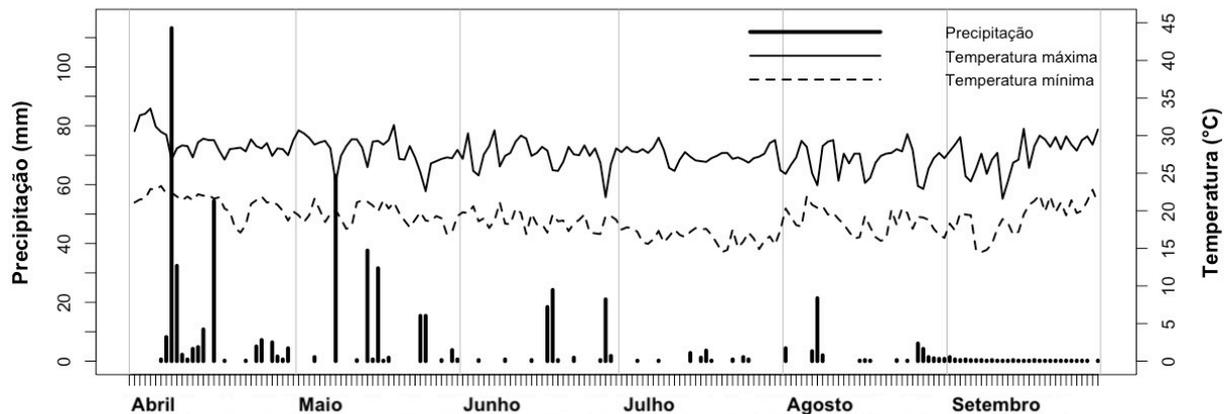
### **1.2.2 Material e Métodos**

O trabalho foi realizado durante o período de fevereiro a setembro de 2018, em uma cava de extração de argila, localizada em área de Tabuleiro Costeiro, utilizada para terraplanagem de estradas de acesso e locações operacionais de produção de óleo e gás natural no município de São Mateus, ES, com altitude de aproximadamente 23 metros. O solo da cava é um Latossolo Amarelo, com drenagem insuficiente, na qual a camada superficial fértil foi retirada até uma profundidade média de 5 m, com os atributos químicos conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo da área experimental no município de São Mateus, ES, na profundidade de 0-20 cm.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	M
(H <sub>2</sub> O)	g Kg <sup>-1</sup>	--- mg dm <sup>-3</sup> ---	---	-----	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----	-----	-----	% -----
4,6	4,73	0,69	8,75	0,26	0,21	0,68	2,2	0,59	2,79	20,45	55,42

O clima regional é do tipo Aw, segundo a classificação internacional de Köppen, tropical quente e úmido com inverno seco e verão chuvoso (ALVARES et al., 2014). Foram coletados dados diários de precipitação pluvial e temperatura máxima, mínima e média, referente aos meses de abril a setembro de 2018, pelo modelo de estação meteorológica Davis 6162 Wireless Vantage Pro2 Plus, a 1400 metros da área experimental (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação pluvial (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C) diárias, de abril a setembro de 2018, para caracterização da área experimental.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjados em parcelas sub-subdivididas, sendo as parcelas principais constituídas por dois tipos de preparo de solo, subsolagem e escarificação, as subparcelas por cinco doses de NPK 04-14-08 (0, 40, 80, 160 e 320 g cova<sup>-1</sup>), e as sub-subparcelas por cinco espécies nativas da Mata Atlântica (Tabela 2), totalizando cinquenta tratamentos.

As oito parcelas mediram 10 x 10 m cada. As subparcelas, quarenta no total, mediram 2 x 10 m e continham 25 plantas cada. As sub-subparcelas, duzentas no total, mediram 2 x 2 m e comportaram cinco plantas cada. Foram cultivadas 1000 plantas no total.

**Tabela 2.** Principais características das espécies utilizadas para recuperação da área degradada pela extração de argila no estudo.

Espécies	Nome Popular	Família	Grupo Ecológico
<i>Dalbergia ecastaphyllum</i>	rabo de bugio	Fabaceae	Pioneira
<i>Inga laurina</i>	ingá da praia	Fabaceae	Não Pioneira
<i>Protium heptaphyllum</i>	amescla cheirosa	Burseraceae	Não Pioneira
<i>Psidium cattleianum</i>	goiaba do ipiranga	Myrtaceae	Não Pioneira
<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira	Anacardiaceae	Pioneira

Fonte: IEMA (2018); SOUZA (2010); SCOLFORO et al. (2008).

O preparo do solo foi realizado um mês antes do plantio das mudas, sendo a escarificação efetuada com escarificador contendo três hastes curvas, trabalhando a uma profundidade de 25 cm e a subsolagem com um subsolador também com três hastes curvas à uma profundidade de 70 cm, com posterior passagem de três grades leves para uniformização da área. Após o preparo do solo foi realizada a correção do pH, elevando a saturação por bases para 70%, com aplicação de calcário dolomítico e posterior incorporação com grade. A cava foi então revegetada com o plantio de cinco espécies facilitadoras, descritas anteriormente, na forma de quincôncio com espaçamento de 1 m entre as mudas periféricas e 2 m entre as centrais, em covas de dimensões 0,40 x 0,40 x 0,40 m. As mudas foram adquiridas em um viveiro credenciado no RENASEM na região de São Mateus, ES. Após o transplante, as mudas foram irrigadas três, duas e uma vez por semana, no primeiro, segundo e terceiro mês após o plantio, respectivamente, com 2 L de água por planta por aplicação. As plantas receberam adubação de cobertura a cada sessenta dias, com aplicação de 25 g planta<sup>-1</sup> do formulado NPK 20-00-20 Micro Total®.

As características morfológicas avaliadas, 210 dias após o plantio, foram altura da planta, determinada a partir do nível do solo até o ápice da planta, com auxílio de uma trena graduada em milímetros; diâmetro do coleto, mensurado no nível do solo, com auxílio de paquímetro digital, com precisão em milímetros; e número de folhas. A taxa de crescimento absoluto das espécies foi calculada conforme Reis e Muller (1979):

$$TCA = \frac{H2 - H1}{T2 - T1} \quad (1)$$

Em que: TCA= taxa de crescimento absoluto; H1 e H2 representa a variação da altura da planta em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T1 e T2, cm mês<sup>-1</sup>.

A análise estatística dos resultados foi realizada através do *software* R (R CORE TEAM, 2018). Foi utilizado o teste F a 5% para a análise de variância. Nos casos significativos, foi utilizado o teste de Tukey para os fatores qualitativos e regressões linear, quadrática e raiz quadrada para fatores quantitativos. A escolha da equação que melhor se ajustou aos dados do fator quantitativo foi determinada pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e o coeficiente de determinação  $R^2$  foi ajustado com a média dos tratamentos. Os resultados foram apresentados e discutidos em duas etapas: na primeira, foi considerada a comparação entre as espécies em cada dose de adubo NPK aplicado no plantio; na segunda, foi avaliado o resultado individual de cada espécie em relação ao aumento da dose.

### 1.2.3 Resultados e Discussão

Os resultados do quadrado médio da taxa de crescimento absoluto, do diâmetro do caule e do número de folhas em área degradada pela extração de argila são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que o desenvolvimento das plantas não foi afetado pelo tipo de preparo do solo e os fatores dose, espécie e a interação dose x espécie foram significativos pelo teste F à 5% de significância.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância da taxa de crescimento absoluto (TCA), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) do experimento em área degradada pela extração de argila, 210 dias após o plantio.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		TCA	DC	NF
Bloco	3	11,88 <sup>ns</sup>	50,76 <sup>ns</sup>	19645 <sup>ns</sup>
Preparo	1	1,565 <sup>ns</sup>	22,43 <sup>ns</sup>	151 <sup>ns</sup>
Resíduo a	3	12,685	41,14	11343
Dose	4	137,55*	254,33*	111687*
Preparo:Dose	4	6,74 <sup>ns</sup>	8,37 <sup>ns</sup>	2027 <sup>ns</sup>
Resíduo b	24	9,88	12,49	9129
Espécie	4	1661,4*	1350,4*	296819*
Preparo:Espécie	4	5,7 <sup>ns</sup>	10,7 <sup>ns</sup>	1464 <sup>ns</sup>
Dose:Espécie	16	26,8*	50,1*	31142*
Preparo:Dose:Espécie	16	9,3 <sup>ns</sup>	11,4 <sup>ns</sup>	9264 <sup>ns</sup>
Resíduo c	120	12,1	8,2	7778
CV% (Preparo)		44,03	43,05	70,80
CV% (Dose)		38,85	23,71	63,51
CV% (Espécie)		43,02	19,16	58,62

<sup>ns</sup>Não significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. CV, coeficiente de variação.

### Primeira etapa

A maior taxa de crescimento absoluto, em todas as doses avaliadas, foi observada para *Dalbergia ecastaphyllum* (Tabela 4). A superioridade dessa espécie em relação às demais pode estar relacionada ao fato ser uma leguminosa do grupo ecológico das pioneiras (CAMARGO et al., 2009). As leguminosas apresentam uma relação mutualística com bactérias do gênero *Rhizobium*, as quais fixam nitrogênio nos nódulos disponibilizando-o para a planta (SOUZA e CAPELLARI JUNIOR, 2004; LARCHER, 1986; TAIZ et al., 2017). O Nitrogênio é um elemento essencial, com efeitos positivos no crescimento das plantas, participando como constituintes de enzimas, proteínas, moléculas de clorofila, citocromos, ácidos nucleicos, dentre outros (MARCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006).

Para a espécie *Schinus terebinthifolius*, também pertencente ao grupo ecológico das pioneiras, nota-se que seu comportamento na dose 0 foi similar ao da *Inga laurina*, *Protium heptaphyllum* e *Psidium cattleianum*, que são espécies não pioneiras. Todavia, com o aumento da adubação de plantio, essa espécie apresentou um crescimento superior às não pioneiras, alcançando na dose de 320 g por cova uma taxa de crescimento superior (Tabela 4), o que indica ser altamente responsiva à adubação e com grande potencial para revegetação da área. Entretanto, considerando o bioma Caatinga, Lima et al. (2015), estudando o crescimento de espécies nodulantes e não-nodulantes em área degradada por mineração de piçarra, observaram baixa taxa de crescimento e de sobrevivência para *S. terebinthifolius*. Cabe destacar que os autores realizaram adubação de plantio com dois litros de esterco bovino curtido, 40 gramas de superfostato simples e 10 gramas de FTE BR15 e cultivaram as plantas sem irrigação.

**Tabela 4.** Taxa de crescimento absoluto ( $\text{cm m\textsuperscript{-1}}$ ) médio das espécies quando cultivadas sob doses crescentes de NPK 04-14-08 em área degradada pela extração de argila, 210 dias após o plantio.

Espécies	Doses de NPK 04-14-08 ( $\text{g cova}^{-1}$ )					Médias
	0	40	80	160	320	
<i>Dalbergia ecastaphyllum</i>	10,94 a	19,37 a	19,73 a	23,03 a	18,86 a	18,39
<i>Inga laurina</i>	4,53 b	5,71 bc	6,65 b	7,79 bc	5,89 c	6,11
<i>Protium heptaphyllum</i>	3,02 b	3,91 c	4,69 bc	5,55 cd	4,66 c	4,37
<i>Psidium cattleianum</i>	1,24 b	1,77 c	1,80 c	2,09 d	2,10 c	1,80
<i>Schinus terebinthifolius</i>	5,53 b	9,29 b	9,29 b	11,67 b	12,99 b	9,75
Médias	5,05	8,01	8,43	10,02	8,90	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Quanto aos valores médios do diâmetro do coleto das espécies, nas doses de 40 e 80 g cova<sup>-1</sup>, *D. ecastaphyllum* destacou-se das demais (Tabela 5). Nas doses de 0, 160 e 320 g cova<sup>-1</sup> não diferiu de *S. terebinthifolius*. Para Souza et al. (2006) e Carneiro (1983), o diâmetro do coleto é importante no crescimento e no potencial de sobrevivência após o plantio, sendo que maiores diâmetros proporcionam maior capacidade de formação e crescimento de raízes. Em área degradada pela extração de areia, Souza et al. (2001) observaram plantas de *S. terebinthifolius* com diâmetro do caule de 11,0 mm, aos seis meses após o plantio. Diâmetro superior a esse, no período de 210 dias após o plantio, foi encontrado neste trabalho (25,87 mm) com a aplicação de 320 g cova<sup>-1</sup> de NPK 04-14-08 (Tabela 5).

**Tabela 5.** Diâmetro médio do coleto (mm) para espécies cultivadas sob doses crescentes de NPK 04-14-08 em área degradada pela extração de argila, 210 dias após o plantio.

Espécies	Doses de NPK 04-14-08 (g cova <sup>-1</sup> )					Médias
	0	40	80	160	320	
<i>Dalbergia ecastaphyllum</i>	15,01 a	22,53 a	24,74 a	26,29 a	24,43 a	22,60
<i>Inga laurina</i>	9,36 b	13,67 bc	14,37 c	14,04 b	13,68 b	13,02
<i>Protium heptaphyllum</i>	8,20 b	8,40 d	9,65 d	9,36 c	8,82 c	8,89
<i>Psidium cattleyanum</i>	9,83 b	10,51 cd	11,54 cd	11,65 bc	10,15 bc	10,74
<i>Schinus terebinthifolius</i>	11,23 ab	16,64 b	19,75 b	22,66 a	25,87 a	19,23
Médias	10,72	14,35	16,01	16,80	16,59	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

As espécies que apresentaram maior número de folhas quando adubadas no plantio foram *D. ecastaphyllum* e *S. terebinthifolius* (Tabela 6). Por serem espécies pioneiras possuem crescimento e desenvolvimento acelerado em um curto período de tempo, dando condições de desenvolvimento para as não pioneiras, devido ao sombreamento fornecido sobre elas. As espécies pioneiras diferiram significativamente no número de folhas somente quando foi realizada adubação de plantio, mostrando que a adubação favorece o surgimento de folhas novas e conseqüentemente, aumenta a área fotossinteticamente ativa das plantas.

**Tabela 6.** Número de folhas médio das espécies quando cultivadas sob doses crescentes de NPK 04-14-08 em área degradada pela extração de argila, 210 dias após o plantio.

Espécies	Doses de NPK 04-14-08 (g cova <sup>-1</sup> )					Médias
	0	40	80	160	320	
<i>Dalbergia ecastaphyllum</i>	110,8 a	231,2 a	291,5 a	305,0 a	361,6 a	260,0
<i>Inga laurina</i>	34,6 a	47,6 b	65,8 b	63,1 b	75,8 b	57,4
<i>Protium heptaphyllum</i>	76,3 a	83,1 b	110,8 b	94,0 b	111,1 b	95,1
<i>Psidium cattleyanum</i>	104,6 a	105,7 b	124,8 b	150,6 b	108,0 b	118,7
<i>Schinus terebinthifolius</i>	73,1 a	121,0 ab	172,0 ab	362,6 a	375,2 a	220,8
Médias	79,9	117,7	153,0	195,1	206,3	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

## Segunda Etapa

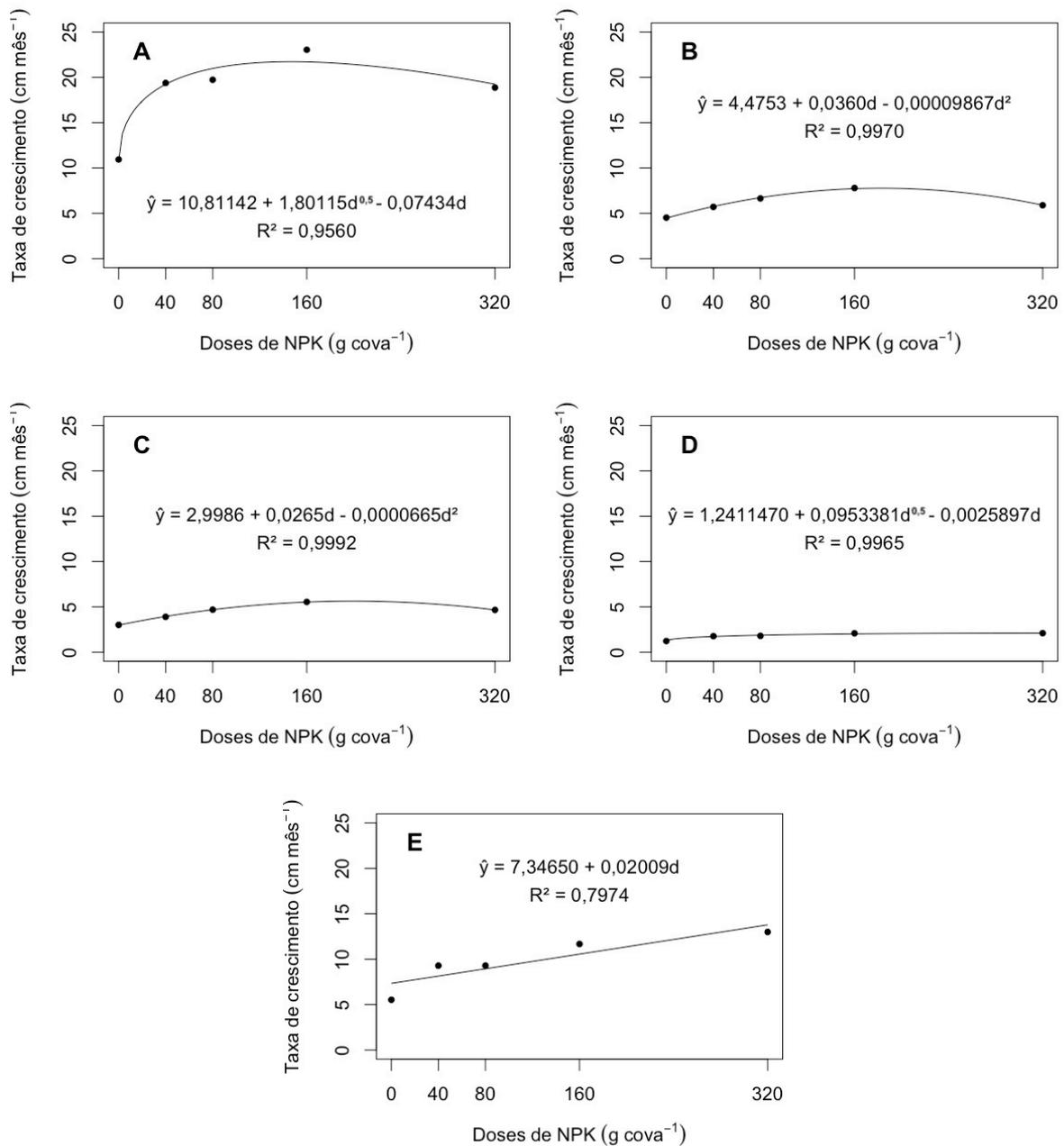
Foram ajustados modelos de regressão para taxa de crescimento absoluto de todas as espécies avaliadas, em função das doses de NPK 04-14-08 aplicadas no plantio (Figura 2). Para as espécies *D. ecastaphyllum* e *P. cattleyanum*, o modelo raiz quadrada foi o que melhor explicou os resultados de taxa de crescimento (Figura 2A e 2D). O coeficiente de determinação encontrado para estas espécies foram, 0,9560 e 0,9965, respectivamente, indicando alta correlação entre os níveis de NPK aplicados no plantio e a taxa de crescimento destas espécies. A equação  $\hat{y} = 10,81142 + 1,80115d^{0,5} - 0,07434d$  foi ajustada para *D. ecastaphyllum*, estimando sua máxima taxa de crescimento de 21,72 cm mês<sup>-1</sup> com a aplicação de 146,75 g cova<sup>-1</sup> do NPK 04-14-08. A espécie *P. cattleyanum* com ajuste da equação  $\hat{y} = 1,2411470 + 0,0953381d^{0,5} + 0,0025897d$ , possibilita que sua taxa máxima de crescimento (2,11 cm mês<sup>-1</sup>) seja obtida com a dose de 320 g cova<sup>-1</sup> de NPK no plantio, pois o ponto de máxima encontrado foi estimado por um valor fora da curva.

Para as espécies *I. laurina* e *P. heptaphyllum*, o modelo polinomial de segundo grau foi o que possibilitou melhor ajuste dos resultados da taxa de crescimento absoluto destas espécies (Figura 2B e 2C). Ambas exibiram coeficiente de determinação considerado alto, 0,9970 e 0,9992, respectivamente, mostrando forte correlação entre os níveis de NPK aplicados no plantio e a taxa de crescimento das espécies. De acordo com a equação  $\hat{y} = 4,4753 + 0,0360d - 0,00009867d^2$ , a taxa máxima de crescimento de 7,76 cm mês<sup>-1</sup> seria obtida com a aplicação de 182,43 g cova<sup>-1</sup> do NPK 04-14-08 para *I. laurina*. Enquanto para *P. heptaphyllum*, a equação  $\hat{y}$

=  $2,9986 + 0,0265d - 0,0000665d^2$ , estima uma taxa de crescimento máximo de 5,64 cm mês<sup>-1</sup> com a aplicação de 199,25 g cova<sup>-1</sup> de NPK no plantio.

O efeito da adubação com NPK no plantio na taxa de crescimento de *S. terebinthifolius* foi linear crescente, variando os valores estimados de mínimo e máximo entre 7,35 a 13,77 cm mês<sup>-1</sup>, o que corresponde a um aumento de 87,35%, mostrando a importância da aplicação de macronutrientes para o crescimento inicial dessa espécie. O coeficiente de determinação de 0,7974 indica que 79,74% da variação da taxa de crescimento é esclarecido pela equação linear  $\hat{y} = 7,3465 + 0,02009d$  (Figura 2E). Scheer et al. (2017), avaliando *S. terebinthifolius* com dois anos de idade em área degradada por extração de argila, observaram altura média das plantas de 2,52 m. Considerando esta altura e a idade da planta é possível estimar uma taxa de crescimento absoluto de apenas 0,09 cm mês<sup>-1</sup> quando aplicados 500 g cova<sup>-1</sup> de NPK 05-20-10 e de calcário. Vieira et al. (2017) testando níveis crescentes de NPK no plantio em *Tectona grandis*, com seis meses no campo, concluíram que nitrogênio e fósforo são necessários desde o plantio da espécie, enquanto que a demanda de potássio pela planta inicia-se após esse período.

A formulação NPK é constituída por porcentagens dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. O nitrogênio é um dos elementos mais requeridos pelas plantas e o que mais limita o crescimento. Sua deficiência resulta em clorose gradual das folhas mais velhas e redução do crescimento (SOUZA e FERNANDES, 2006). O fósforo participa de vários processos metabólicos em plantas, como transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicose e respiração, e está intimamente ligado ao crescimento das raízes. Por isso, é adicionado apenas no plantio. Sua deficiência também limita o crescimento das plantas (ARAUJO e MACHADO, 2006). O potássio é o cátion mais abundante na planta, sendo absorvido em grandes quantidades pelas raízes. Tem importante função no estado energético, na translocação e armazenamento de assimilados e na manutenção da água nos tecidos vegetais (MEURER, 2006). Esses três macronutrientes formam a base da adubação de plantas e são utilizados para a implantação e manutenção de muitas culturas, sendo de modo geral NPK aplicado no plantio e NK em cobertura.



**Figura 2.** Efeito de doses de NPK 04-14-08 sobre a taxa de crescimento de *Dalbergia ecastaphyllum* (A), *Inga laurina* (B), *Protium heptaphyllum* (C), *Psidium cattleyanum* (D) e *Schinus terebinthifolius* (E) em área degradada pela extração de argila, 210 dias após o plantio.

O diâmetro do coleto das espécies em função da adubação com NPK 04-14-08 no plantio estão apresentados na Figura 3. Não foi possível o ajuste de modelo apenas para a espécie *P. heptaphyllum*, com média de 8,89 mm (Tabela 5). *D. ecastaphyllum* e *I. laurina* apresentaram ajuste de modelo por raiz quadrada (Figura 3A e 3B), com equação  $\hat{y} = 14,892124 + 1,660298d^{0,5} - 0,062488d$  e coeficiente de determinação de 0,9958, permitindo estimar máximo diâmetro do coleto (25,92 mm)

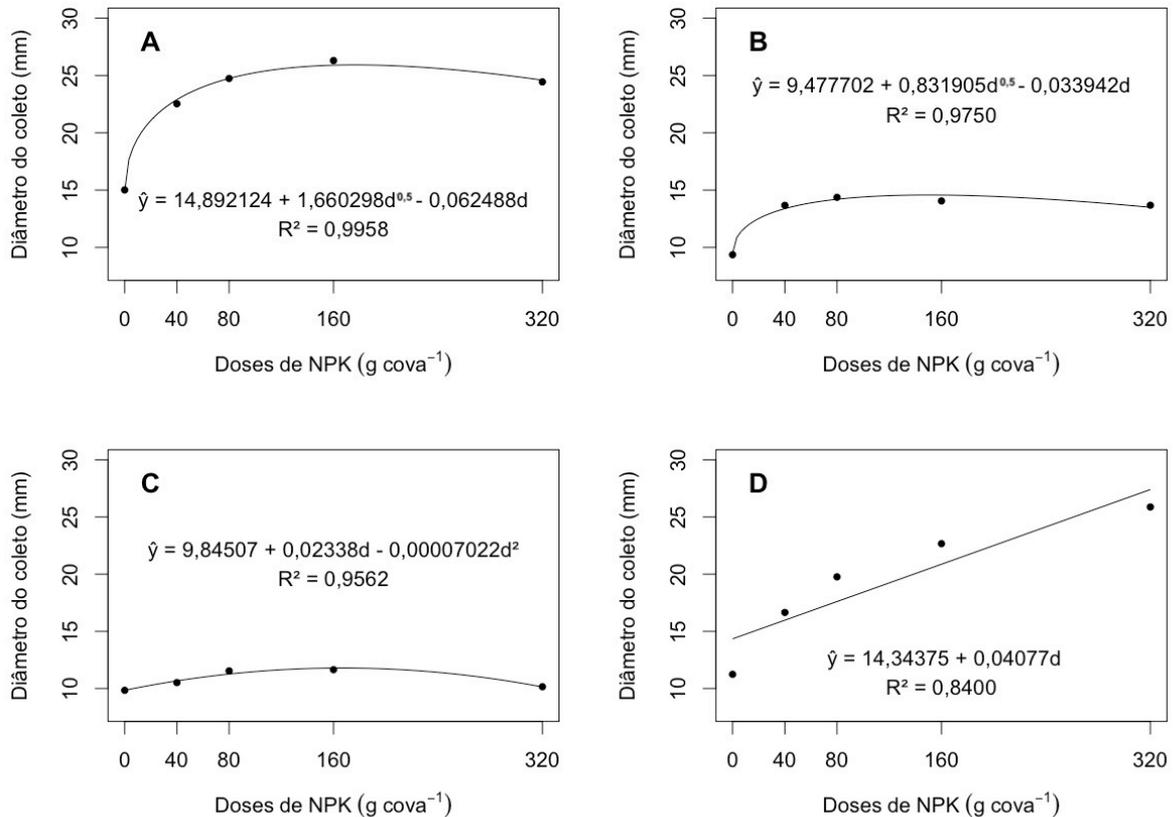
com a aplicação de 176,49 g cova<sup>-1</sup> de NPK 04-14-08 no plantio, para *D. ecastaphyllum*. Enquanto para *I. laurina*, ajustou-se a equação  $\hat{y} = 9,477702 + 0,831905d^{0,5} - 0,033942d$ , com coeficiente de determinação de 0,9750, possibilitando obter máximo diâmetro do coleto (14,57 mm) com a aplicação de 150,18 g cova<sup>-1</sup> de NPK. Segundo Souza et al. (2006) plantas com diâmetro do coleto elevado, apresentam maior resistência às condições adversas do ambiente.

Ao analisar o efeito da adubação no plantio sobre o diâmetro do coleto de *P. cattleyanum* através da regressão, constatou-se que o modelo polinomial de segundo grau foi o que melhor se ajustou aos resultados (Figura 3C). Observa-se que o maior diâmetro do coleto 11,79 mm foi obtido com a aplicação de 166,48 g cova<sup>-1</sup> do NPK 04-14-08, valores estimados pela equação  $\hat{y} = 9,8451 + 0,02338d - 0,00007022d^2$ , que explica em 95,62% o comportamento do diâmetro do coleto em função da variação das doses de NPK no plantio.

Para *S. terebinthifolius* o diâmetro do coleto em função das doses de NPK aplicadas no plantio também apresentou ajuste linear crescente (Figura 3D), assim como, para a taxa de crescimento, afirmando-se como uma espécie altamente responsiva à adubação no plantio. A equação estimada  $\hat{y} = 14,3437 + 0,04077d$  nos mostra uma variação de 14,34 a 27,39 mm, entre as doses 0 e 320, respectivamente. Essa variação representa um incremento de 91% no diâmetro do coleto, sendo que 84% (R<sup>2</sup>) dessa variação pode ser explicada pela equação. Souza et al. (2006), trabalhando com *S. terebinthifolius* em Latossolo Vermelho Distrófico, com a utilização de adubos orgânicos e NPK 20-05-15 na dose de 75 g cova<sup>-1</sup>, observaram diâmetros de coleto de 6,80 mm a 9,40 mm aos 120 dias após o plantio. Analisando o crescimento inicial de *Tectona grandis*, Vieira et al. (2017), observaram maiores diâmetro do caule aos seis meses de idade quando foi realizada adubação com NPK no plantio. Os autores ainda relatam que durante esse período os adubos estavam na fase de máxima liberação dos nutrientes, favorecendo assim sua disponibilidade e absorção pelas plantas.

A medida do diâmetro do coleto retrata o crescimento secundário da planta quando ainda jovem e é uma referência ao diâmetro à altura do peito (DAP), utilizado em dendriometria para árvores adultas. O diâmetro à altura do peito (DAP) é o elemento mais importante medido em uma árvore, pois fornece a base para muitos outros cálculos. Porém, ele não pode ser utilizado para plantas jovens, pois serve para a obtenção da área seccional à altura do peito, 1,30m, em relação ao solo, medida

importante no cálculo do volume das árvores e de povoamentos. O agrupamento dos diâmetros das árvores em classes (classes de DAP) define a distribuição diamétrica da floresta, a qual é essencial para a definição do estoque de crescimento e para análise de decisões econômicas e silviculturais (LOETSCH et al., 1973).



**Figura 3.** Efeito de doses de NPK 04-14-08 sobre o diâmetro do coleto de *Dalbergia ecastaphyllum* (A), *Inga laurina* (B), *Psidium cattleyanum* (C) e *Schinus terebinthifolius* (D) em área degradada pela extração de argila, 210 dias após o plantio.

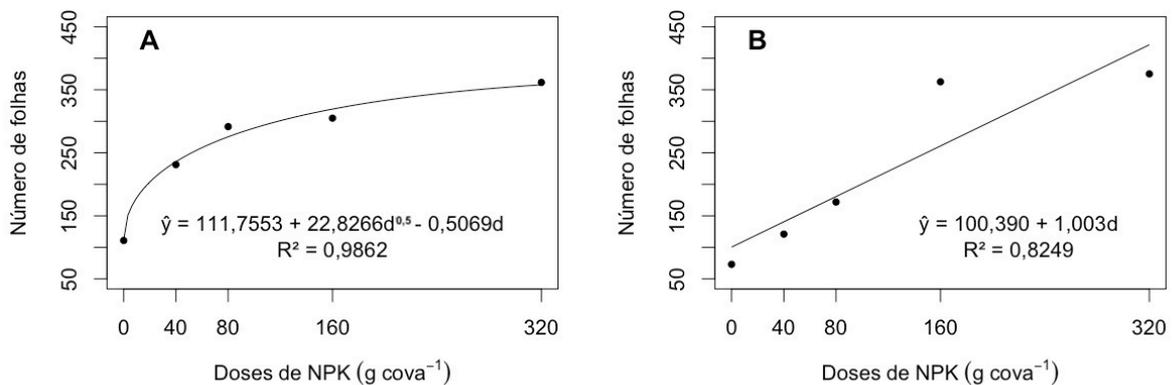
O efeito das doses de NPK no plantio sobre o número de folhas possibilitou o ajuste de modelos de equação apenas para *D. ecastaphyllum* e *S. terebinthifolius* (Figura 4). As demais espécies, *I. laurina*, *P. heptaphyllum* e *P. cattleyanum* apresentaram número de folhas médios de 57, 95 e 118, respectivamente (Tabela 6).

Para *D. ecastaphyllum*, a modelo raiz quadrada foi que melhor explicou o número de folhas desta espécie (Figura 4A). Pela equação  $\hat{y} = 111,7553 + 22,8266d^{0,5} - 0,5069d$  e coeficiente de determinação de 0,9862, verificou-se que o número de folhas máximo (357 folhas), pode ser alcançado com a aplicação de 320 g cova<sup>-1</sup> de NPK 04-14-08. Ressalta-se ainda que a espécie *D. ecastaphyllum* apresentou elevada ramificação lateral, levando a uma produção de biomassa visualmente superior as espécies não-pioneiras. Essa ramificação proporciona um sombreamento que traz

benefícios para o desenvolvimento inicial das espécies não pioneiras (GALVÃO e MEDEIROS, 2002). A aclimação, que é a característica vegetal de plasticidade de desenvolvimento para responder a diferentes regimes de luz, é importante para essas espécies. Quando plantas são expostas a uma quantidade de luz maior do que podem utilizar, o centro de reação do fotossistema II é inativado pela fotoinibição comprometendo o desenvolvimento vegetal (TAIZ et al., 2017).

A espécie *S. terebinthifolius* apresentou ajuste de regressão linear crescente (Figura 4B). Sem adubação no plantio, a espécie alcança 100 folhas, porém quando se aplica 320 g cova<sup>-1</sup> do NPK 04-14-08 essa média aumenta em 321%, elevando-se para 421 folhas, de acordo com a equação estimada  $\hat{y} = 100,39 + 1,003d$  e coeficiente de determinação de 0,8249. Esse aumento demonstra plantas com maior aptidão para condições de campo, por apresentarem maior área fotossinteticamente ativa (MELO et al., 2007).

A *D. ecastaphyllum* apresentou ajuste de equação por modelo raiz quadrada para todas as variáveis morfológicas analisadas, mostrando que estas variáveis aumentam até um ponto de máxima em resposta aos níveis de adubação de plantio, e decrescem quando em doses muito elevadas. Segundo Pereira et al. (2013) a densidade de nódulos de *Rhizobium* nas raízes de *D. ecastaphyllum* decresce com o aumento da fertilidade do solo. O aumento das doses de NPK pode ter ocasionado decréscimo na densidade de nódulos de *Rhizobium*, a qual limitou o crescimento da espécie em altas doses de adubação. Revegetando-se área degradada pelo rejeito de lavagem de bauxita, com diferentes espécies arbóreas leguminosas e não leguminosas, Franco et al. (2006) observaram que, após 22 meses, espécies leguminosas que realizavam fixação biológica de nitrogênio, apresentavam maior produção de biomassa e crescimento superior às demais espécies, mostrando a capacidade de se desenvolverem em áreas com baixa fertilidade. Resultados satisfatórios utilizando leguminosas arbóreas na revegetação de áreas degradadas por remoção de horizontes superficiais foram obtidos por Franco et al. (1995) e Macedo et al. (2008) na região sudeste, e por Lima et al. (2015) na região nordeste do Brasil.



**Figura 4.** Efeito de doses de NPK 04-14-08 sobre o número de folhas de *Dalbergia ecastaphyllum* (A) e *Schinus terebinthifolius* (B) em área degradada pela extração de argila, 210 dias após o plantio.

Apesar dos níveis de NPK testados não terem influenciado o diâmetro do coleto de *Protium heptaphyllum* e o número de folhas das espécies *Inga laurina*, *Protium heptaphyllum* e *Psidium cattleyanum*, a taxa de crescimento das espécies foi sensível a elevação da dose de NPK aplicada no plantio (Figura 2B, 2C e 2D e 2B). *Schinus terebinthifolius* é altamente exigente na adubação de plantio, considerando que a dose máxima de NPK 04-14-08 testada não supriu completamente a necessidade da espécie. Foi observado comportamento linear para todas as características morfológicas analisadas, sendo recomendados testes com doses mais elevadas para esta espécie. Tabaldi et al. (2016), trabalhando com produção de biomassa e conteúdo de fenóis e flavonoides de *Schinus terebinthifolius* cultivada com cama de frango, também observaram resposta linear crescente para as características que avaliaram.

As espécies pioneiras utilizadas, *Dalbergia ecastaphyllum* e *Schinus terebinthifolius* apresentaram-se superiores às demais, em todas as variáveis analisadas, na maioria das doses, enquanto que as menores médias de taxa de crescimento, diâmetro do coleto e número de folhas foram observadas nas espécies não pioneiras, *Inga laurina*, *Protium heptaphyllum* e *Psidium cattleyanum*. Segundo Lima et al. (2015) o crescimento lento de determinada espécie pode estar relacionado às características intrínsecas da espécie e não às limitações do ambiente no qual se encontra. O uso de espécies com características diferentes de crescimento e desenvolvimento é importante para sucessão secundária e para a heterogeneidade da floresta. As espécies *Dalbergia ecastaphyllum*, *Schinus terebinthifolius* e *Psidium cattleyanum* são recomendadas para projetos de restauração em restinga por

Rodrigues et al. (2016). Bona et al. (2011), trabalhando em solo contaminado com óleo diesel na concentração de 92,4 ml por kg de solo, observaram que a germinação de *S. terebinthifolius* não é mais afetada após 30 dias de contaminação, sendo recomendada como uma espécie potencial para fitorremediação em solos com hidrocarbonetos de óleo.

#### 1.2.4 Conclusões

O tipo de preparo do solo utilizado não influenciou o desenvolvimento das espécies na cava em estudo.

As espécies pioneiras *Dalbergia ecastaphyllum* e *Schinus terebinthifolius* destacaram-se das demais na maioria das doses de NPK avaliadas.

Embora as não-pioneiras tenham apresentado crescimento lento, são importantes na sucessão secundária da área e devem ser indicadas para revegetação de áreas degradadas.

Para o plantio de *Dalbergia ecastaphyllum*, *Inga laurina*, *Protium heptaphyllum* e *Psidium cattleianum* em área degradadas pela extração de argila recomenda-se a aplicação de 176,49, 150,18, 199,25 e 166,48 g cova<sup>-1</sup> de NPK 04-14-08 no plantio, respectivamente.

*Schinus terebinthifolius* foi altamente responsiva à adubação no plantio, indicando-se a dose de 320 g cova<sup>-1</sup> de NPK 04-14-08. Entretanto, são necessários testes com doses mais elevadas para que seja possível determinar um ponto ótimo de desenvolvimento da espécie.

## Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T. DE T. Fósforo. In: Fernandes, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.253-280.
- BONA, C.; REZENDE, I.M. DE; SANTOS, G. DE O.; SOUZA, L.A. DE. Effect of soil contaminated by diesel oil on the germination of seeds and the growth of *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) Seedlings. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.54, n.6, p.1379-1387, 2011. DOI: 10.1590/S1516-89132011000600025
- CAMARGO, T.C.C.; NOVAES, L. DE L.; MAGENTA, M.A.G.; MOURA, C. DE; PASTORE, J.A. Caracterização do estágio sucessional da vegetação da restinga da Vila Barra do Una, Peruíbe – SP. In: 3 Seminário de iniciação científica do Instituto Florestal. **Anais...**São Paulo: Instituto Florestal Série Registros, n.40, 2009. p.83-87.
- CARNEIRO, J. G. A. Influência dos fatores ambientais e das técnicas de produção sobre o desenvolvimento de mudas florestais e a importância dos parâmetros que definem sua qualidade. In: Simpósio Sobre Florestas Plantadas Nos Neotrópicos Como Fonte De Energia. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1983. p.10-24.
- FRANCO, A.A. et al. Revegetação de áreas degradadas pela mineração e processamento de bauxita. In: ALBA, J.M.F. (Ed.). **Recuperação de áreas mineradas: a visão dos especialistas brasileiros**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. Cap. 14.
- FRANCO, A.A.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M. DE; CAMPELLO, E.F.C.; SILVA, E.M.R. DA. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida do solo: um modelo tecnológico. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). **Oecologia brasiliensis: estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros**. Piracicaba: ESALQ, 1995. p.459-467.
- GALVÃO, A.P.M.; MEDEIROS, A.C.S. **A restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 134p.
- INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Lista de espécies indicadas para recuperação de áreas degradadas no estado do Espírito Santo**. 2018. Acesso em: 22 set. 2018. URL <https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/GRN/Core/Lista%20de%20especies%20nativas%20recomendadas%20para%20restauracao.xls>
- JESUS, E.N. DE; SANTOS, T.S. DOS; RIBEIRO, G.T.; ORGE, M.D.R.; AMORIM, V.O.; BATISTA, R.C.R.C. Regeneração natural de espécies vegetais em jazidas revegetadas. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.2, p.191-200, 2016. DOI: 10.1590/2179-8087.115914

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1986. 339p.

LIMA, K.D.R. DE; CHAER, G.M.; ROWS, J.R.C.; MENDONÇA, V.; RESENDE, A.S. Seleção de espécies arbóreas para revegetação de áreas degradadas por mineração de piçarra na caatinga. **Revista Caatinga**, v.28, n.1, p.203-213, 2015.

LOËTSCH, F.; HALLER, K.E.; ZÖHRER, F. **Forest inventory**. 2.ed. Munich: BLV Verlagsgesellschaft, 1973. 469p.

MACEDO, M.O.; RESENDE, A.S.; GARCIA, P.C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E.F.C.; FRANCO, A.A. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.1516-1524, 2008. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.11.007

MACHADO, C.J.S.; VILANI, R.M.; FRANCO, M.G.; LEMOS, S.D. DA C. Legislação ambiental e degradação ambiental do solo pela atividade petrolífera no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v.28, p.41-55, 2013. DOI: 10.5380/dma.v28i0.30168

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 631p.

MARCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MECHI, A.; SANCHES, D.L. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**. v.24, n.68, p.209-220, 2010. DOI: 10.1590/S0103-40142010000100016

MELO, A.S.; COSTA, C.X.; BRITO, M.E.B.; VIÉGAS, P.R.A.; SILVA JÚNIOR, C.D. Produção de mudas de mamoeiro em diferentes substratos e doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.4, p.257-261, 2007. DOI: 10.5039/agraria.v2i4a1838

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.281-298.

OLIVEIRA, E.M. DE; SOUTO, J.S.. Mesofauna edáfica como indicadora de áreas degradadas. **Revista Verde**, v.6, n.1, p.01-09, 2011.

PEREIRA, T.; ROSSINE, F.; CABRAL, J.; VAZ, R. A fertilidade do solo afeta as relações mutualísticas entre *Dalbergia ecastophyllum* (Fabaceae) e bactérias fixadoras de nitrogênio?. In: Prática da pesquisa em ecologia da Mata Atlântica. **Anais...** Universidade de São Paulo, 2013. p.1-4.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. <https://www.R-project.org/>

REIS, G.G.; MULLER, M.W. **Análise de crescimento de plantas - mensuração do crescimento**. Belém: CPATU, 1979. 37p.

REIS, L.L. **Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto Trombetas (PA)**. 2006.

175 p. Tese de doutorado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2006.

RODRIGUES, L.G.S.M.; RODRIGUES, F.M.; VIROLI, S.L.M. Técnicas de restauração florestal em restingas. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.3, n.1, p.28-35, 2016. DOI: 10.18067/jbfs.v3i1.42

SCHEER, M.B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O.A.; SANTOS, K.G. DOS. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e de adubação. **Revista Floresta**, v.47, n.3, p.279-287, 2017. DOI: 10.5380/RF.v47i3.41973

SCHIAVO, J.A.; CANELLAS, L.P.; MARTINS, M.A. Revegetação de cava de extração de argila com *Acacia mangium*. I - Atributos químicos do solo, ácidos fúlvicos e húmicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.1153-1162, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000500030

SCHIAVO, J.A.; MARTINS, M.A.; RODRIGUES, L.A. (2009). Avaliação nutricional de mudas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* inoculadas com fungos micorrízicos, em casa-de-vegetação e em cava de extração de argila. **Acta Scientiarum Agronomy**, 31(4), 701-707. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i4.1364

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; SILVA, C. P. DE C. (2008). **Inventário Florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas aptas para o Manejo Florestal**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2008. 1029p.

SHEORAN, V.; SHEORAN, A.S.; POONIA, P. Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. **International Journal of Soil, Sediment and Water**, v.3, n.2, p.1-20, 2010. <http://scholarworks.umass.edu/intljssw/vol3/iss2/13>

SILVA, C.F. DA; SIMÕES-ARAÚJO, J.L.; SILVA, E.M.R. DA; PEREIRA, M.G.; FREITAS, M.S.M.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; MARTINS, M.A. Fungos micorrízicos arbusculares e proteína do solo relacionada à glomalina em área degradada por extração de argila e revegetada com eucalipto e acácia. **Ciência Florestal**, v.22, n.4, p.749-761, 2012. DOI: 10.5902/198050987556

SILVA, F.F. **Uso de topsoil como fonte de inóculo de microrganismos simbiotes para leguminosas florestais usadas na recuperação de áreas degradadas na Caatinga**. 2018. 73p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2018.

SOUZA, P.A DE; VENTURIN, N.; MACEDO, R.L.G. DE; ALVARENGA, M.I.N.; SILVA, V.F. DA. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. **Cerne**, v.7, n.2, p.43-52, 2001.

SOUZA, C.A.M. DE; OLIVEIRA, R.B. DE; MARTINS FILHO, S.; LIMA, J.S. DE S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. **Ciência Florestal**, v.16, n.3, p.243-249, 2006. DOI: 10.5902/198050981905

SOUZA, P.Z. **Dinâmica espaço-temporal de *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Taub. em restinga no sul do Brasil**. 2010. 118p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

SOUZA, R.S.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.215-252.

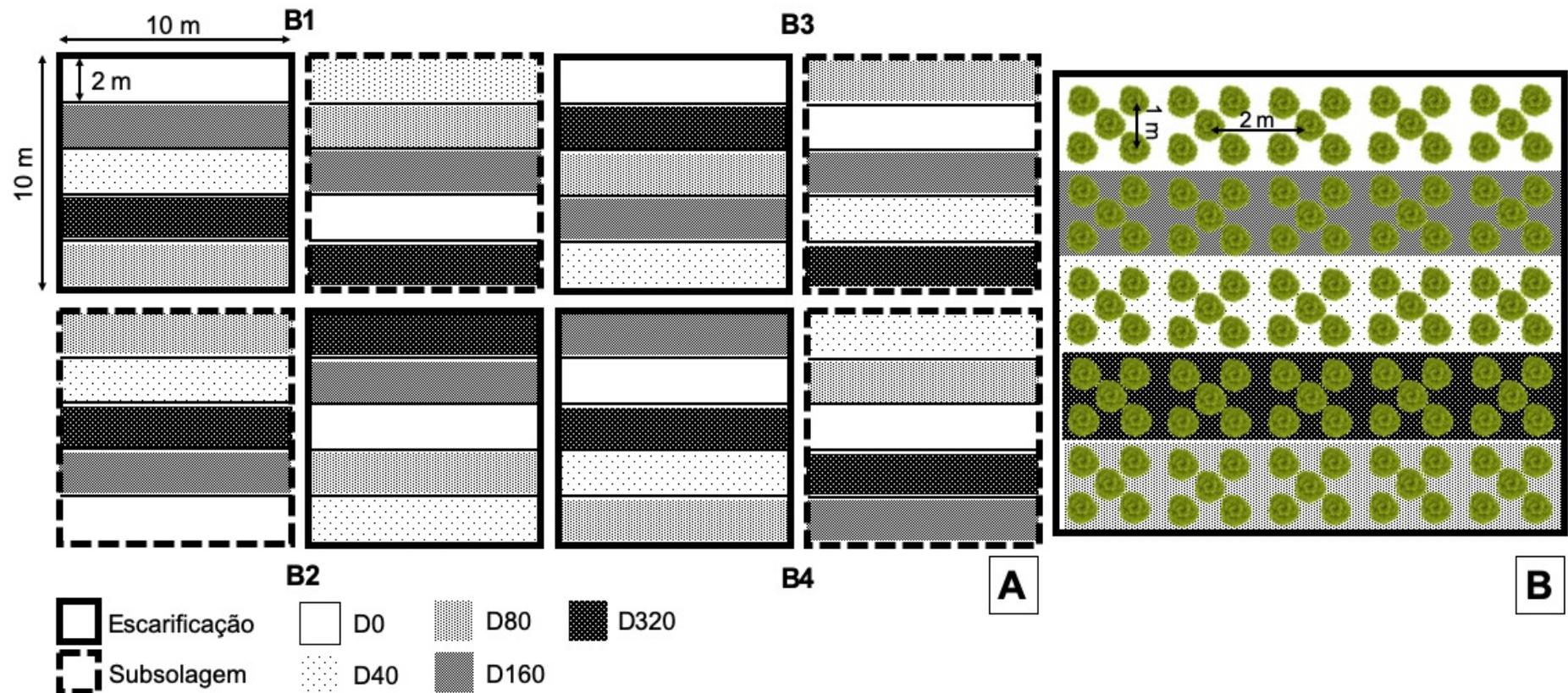
SOUZA, V.C.; CAPELLARI JÚNIOR, L. A vegetação das dunas e restingas da Estação Ecológica Juréia-Itatins. In: MARQUES, O.A.V.; DULEBA, W. (eds), **Estação Ecológica Juréia-Itatins**. Ambiente físico, flora e fauna. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2004. p.103-114.

TABALDI, L.A.; VIEIRA, M. DO C.; ZÁRATE, N.A.H.; FORMAGIO, A.S.N.; PILECCO, M.; SILVA, L.R. DA; SANTOS, K.P.DOS; SANTOS, L.A.C. DOS; CARDOSO, C.A.L. Biomass yield and flavonoid and phenol content of schinus terebinthifolius cultivated in single or double row with poultry litter. **Ciência Florestal**, v.26, n.3, p.787-796, 2016. DOI: 10.5902/1980509824207

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

VIEIRA, C.R.; WEBER, O.L. DOS S.; SCARAMUZZA, J.F. Influência da adubação NPK no crescimento inicial de *Tectona grandis* L.f. em campo. **Revista Instituto Florestal**, v.29, n.1, p.57-69, 2017. DOI: 10.24278/2178-5031.201729104

## Apêndice



**Figura 1.** Esquema do delineamento experimental da área em parcela sub-subdividida (A) e detalhe dentro da parcela (B), com os preparos de solo na parcela, as doses de NPK 04-14-08 na subparcela e as cinco espécies nativas na sub-subparcela.



**Figura 2.** Fundo de cava de extração de argila utilizado para condução do experimento, mostrando o preparo do solo.



**Figura 3.** Abertura das covas para plantio com broca acoplada ao trator.



**Figura 4.** Irrigação de “salvamento” e proteção das mudas com palha, logo após o plantio.



**Figura 5.** Adubação de cobertura.



**Figura 6.** Área experimental 210 dias após o plantio das mudas, em vermelho.

### 1.3 EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE *Ipomoea pes-caprae* EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA

#### Resumo

Estudos relacionados ao requerimento nutricional de espécies florestais nativas são escassos, porém de grande importância em programas de manejo para recuperar áreas degradadas. Objetivou-se avaliar o efeito de concentrações de fósforo sobre o crescimento, a produção de biomassa, o conteúdo e a eficiência nutricional de *Ipomoea pes-caprae* cultivada em solução nutritiva. O experimento foi realizado em estufa de hidroponia. Os tratamentos, representados por cinco concentrações de P na solução nutritiva (0,032; 0,125; 0,250; 0,500 e 1,000 mmol L<sup>-1</sup>), foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados com cinco repetições. Decorridos 35 dias após o transplante avaliou-se comprimento do ramo, número de folhas, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea, da raiz e total, teor e conteúdo de macronutrientes e foram calculados ainda, a relação parte aérea/raiz e os índices de eficiência de absorção, translocação e utilização desses nutrientes. As seis primeiras variáveis supracitadas não sofreram efeito com a redução da concentração de P na solução nutritiva. Os teores de macronutrientes encontrados na *I. pes-caprae* foram considerados

satisfatórios. N, K e Ca foram os nutrientes mais acumulados nos tecidos da planta, enquanto que P, S e Mg foram os mais eficientemente utilizados.

**Palavras-chave:** nutrição mineral, absorção e utilização de macronutrientes, restinga, Mata Atlântica.

## Abstract

Studies related to the nutritional requirements of native forest species are scarce, but of great importance in management programs to recover degraded areas. The objective of this study was to evaluate the effect of phosphorus concentrations on the growth, biomass production, content and nutritional efficiency of *Ipomoea pes-caprae* cultivated in nutrient solution. The experiment was conducted in a hydroponic greenhouse. The treatments, represented by five concentrations of P in the nutrient solution (0.032, 0.125, 0.250, 0.500 and 1.000 mmol L<sup>-1</sup>), were distributed in a randomized complete block design with five replicates. After 35 days of transplanting, branch length, leaf number, stem diameter, shoot, root and total dry mass, macronutrient concentration and content were evaluated, and the aerial/root ratio and indices of absorption, translocation and utilization of these nutrients were calculated. Branch length, leaf number, stem diameter, shoot, root and total dry mass weight were not affected by the reduction of the P concentration in the nutrient solution. The levels of macronutrients found in *I. pes-caprae* were considered satisfactory. N, K and Ca were the most accumulated nutrients in plant tissues, whereas P, S and Mg were the most efficiently used.

**Keywords:** mineral nutrition, absorption and utilization of macronutrients, restinga, Atlantic Forest.

### 1.3.1 Introdução

Os remanescentes florestais de Mata Atlântica encontram-se bem aquém da vegetação original, restando apenas 12,4% da vegetação nativa brasileira (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 2019). Dentre os ecossistemas da Mata Atlântica, encontra-se a restinga, que por ocupar uma pequena extensão territorial torna-se mais suscetível a extinção (PEIXOTO et al., 2015). É um dos ecossistemas mais ameaçados pela pressão antrópica, que ocorre desde o corte raso da vegetação para posterior ocupação imobiliária até atividades de mineração e extrativismo seletivo de espécies florestais (CARRASCO et al., 2012).

Para auxiliar na recuperação dessas áreas é necessário o conhecimento de sua composição vegetal. A *Ipomoea pes-caprae* é uma das plantas de restinga mais distribuídas geograficamente, ocorrendo ao longo das praias em áreas tropicais e subtropicais do mundo (BACH, 1998). Pertence à família Convolvulaceae, com potencial utilização na cobertura do solo e no controle de erosão (SAHOO et al., 2016), adapta-se bem a solos com elevadas temperaturas e baixos teores de nutrientes, tolerando ventos e elevadas temperaturas (WHITTEN et al., 1987). Há relatos de que a espécie é uma das primeiras a colonizar ambientes degradados ou alterados em zonas tropicais (KANE et al., 1993).

As informações sobre as exigências e eficiências nutricionais, ao utilizar espécies florestais nativas para recuperar solos degradados, são escassas (SCHUMACHER et al., 2004), porém são informações essenciais para compreender a habilidade de uma espécie crescer e se desenvolver em solos com baixa fertilidade. Estudos demonstram diferenças na exigência e eficiência nutricional de espécies nativas (BÜNDCHEN et al., 2013; CALDEIRA et al., 2017) em função da adubação fosfatada (NEVES et al., 2004; FONTES et al., 2013; STAHL et al., 2013; CARNEVALI et al., 2016).

O fósforo é um elemento essencial e indispensável para as plantas, pois nenhum outro elemento pode substituí-lo em seu papel nos processos fisiológicos e bioquímicos (FERNANDES, 2006). É exigido pelas plantas para impulsionar o crescimento e desenvolvimento de frutos e sementes através de enzimas que transportam e armazenam energia (JOHNSTON, 2000). Porém, por ser um recurso não renovável, há necessidade de consciência sobre os limites de uso das reservas de rochas fosfáticas. Estas rochas devem ser utilizadas de forma eficiente para

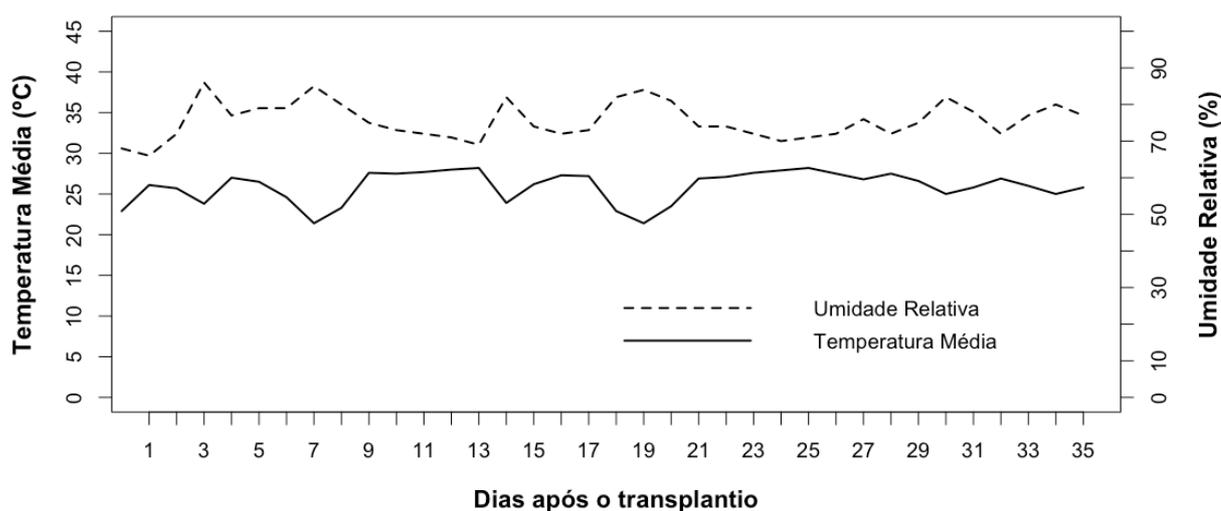
maximizar sua vida útil, garantindo a produção de alimentos futuros para a população (SYERS et al., 2008; CORDEL et al., 2009).

A eficiência de utilização e, ou de absorção dos nutrientes, caracteriza a eficiência nutricional de uma determinada espécie (EPSTEIN, 1972). A eficiência nutricional pode ser afetada por fatores relacionados com o solo, o clima e a espécie (FAGERIA, 1998). Neste último, estão envolvidos os mecanismos fisiológicos e morfológicos, quais são, comprimento e densidade radicular, capacidade da planta solubilizar nutrientes na rizosfera, melhor distribuição e utilização de nutrientes, melhor alocação de matéria seca, relação fonte e dreno balanceada, alta taxa de fotossíntese, manutenção normal do metabolismo com baixo teor de nutrientes nos tecidos e alta relação entre raiz e parte aérea (FAGERIA et al., 2008).

A elevada eficiência de absorção e de utilização pela planta permite a otimização no uso dos nutrientes, com eficiência na conversão em biomassa, racionalização no uso dos recursos edáficos e consequente redução de custos com insumos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento, a produção de biomassa, o conteúdo e a eficiência nutricional da *Ipomoea pes-caprae* em função da concentração de fósforo na solução nutritiva.

### 1.3.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado no período de 22 de outubro a 26 de novembro de 2018, no Campus CEUNES da Universidade Federal do Espírito Santo em São Mateus, ES. As plantas foram cultivadas em estufa hidropônica coberta com filme de polietileno transparente, com laterais protegidas com tela de sombreamento branca. O local se encontra a 38 m de altitude nas coordenadas geográficas de latitude sul 18°40'19" e longitude oeste 39°51'23". Os valores médios de temperatura (25,9 °C) e umidade relativa do ar (75,6%) foram registrados no período de condução do experimento (Figura 1).



**Figura 1.** Temperatura média e umidade relativa do ar dentro da estufa hidropônica de 22/10/18 a 26/11/2018.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco tratamentos correspondentes às concentrações de fósforo (0,032; 0,125; 0,250; 0,500 e 1,000 mmol L<sup>-1</sup> de P) e cinco repetições, com quatro plantas por parcela, totalizando 100 plantas.

As estacas de *Ipomoea pes-caprae* L. pré-enraizadas com vinte dias foram adquiridas em um viveiro credenciado da região de São Mateus, ES, lavadas para retirar todo o substrato, e colocadas nos canais de cultivo com sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), onde circulou solução nutritiva constantemente.

A solução nutritiva utilizada continha para macronutrientes as concentrações de 13,6; 1,0; 7,0; 4,48; 2,5 e 2,5 mmol L<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente, e para micronutrientes as concentrações de 45; 32; 46; 2; 0,9; e 0,2 μmol L<sup>-1</sup> para Fe, Mn, B, Zn, Cu e Mo, respectivamente (MARTINEZ e SILVA FILHO, 2006). A concentração de fósforo foi alterada na solução de acordo com os tratamentos testados. Os nutrientes foram fornecidos por meio de reagentes puro para análise, nas seguintes fontes: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub>, KCl, FeCl<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>-EDTA, MnSO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>.

O sistema de cultivo utilizado consistiu de 25 bancadas compostas por seis canais de cultivo, com cinco caixas d'água de 500 L, sendo cada uma utilizada para um tratamento. A vazão do sistema foi regulada para 1,0-1,2 litros de solução por canal por minuto. A frequência de circulação foi com intervalos intermitentes de 15 minutos durante o dia, e a noite por 15 minutos a cada 3 horas. O pH e a condutividade elétrica das soluções foram monitoradas diariamente com equipamentos portáteis, o

pH corrigido sempre que necessário para  $6,0 \pm 0,5$  com NaOH ou HCl à 1 N, e a condutividade elétrica ajustada com a reposição dos nutrientes quando apresentava depleção de 20%. A evapotranspiração de cada caixa d'água foi monitorada e a reposição de água realizada, admitindo-se uma redução máxima de 20% do volume inicial.

Decorridos trinta e cinco dias do transplântio para o sistema foram avaliados, comprimento do ramo, com auxílio de uma régua graduada em milímetros; diâmetro do caule, com paquímetro digital em mm; número de folhas; as plantas foram separadas em parte aérea e raiz, com posterior secagem do material em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C. Após obtenção da massa seca, o material foi moído para determinação dos teores de macronutrientes e posterior cálculo do conteúdo dos nutrientes na parte aérea e na raiz. A partir do conteúdo dos nutrientes na planta e da massa seca, foram calculados os seguintes índices de eficiência nutricional:

$$\text{Eficiência de absorção (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{conteúdo do nutriente na planta}}{\text{massa seca da raiz}} \quad (1)$$

(SWIADER et al., 1994)

$$\text{Eficiência de translocação} = \frac{\text{conteúdo do nutriente na parte aérea}}{\text{conteúdo do nutriente na planta}} \quad (2)$$

(LI et al., 1991)

$$\text{Eficiência de utilização (g}^2\text{ mg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{massa seca total})^2}{\text{conteúdo do nutriente na planta}} \quad (3)$$

(SIDDIQI e GLASS, 1981)

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e quando houve diferenças significativas realizou-se análise de regressão ajustando modelo linear de primeiro grau ou polinomial de segundo grau. Os pontos de máxima foram definidos pela derivada da equação. Todas as análises foram realizadas com auxílio do pacote de dados 'ExpDes.pt' versão 1.2 (FERREIRA et al., 2018) no *software* R (R CORE TEAM, 2018).

### 1.3.3 Resultados e Discussão

Não houve ajuste de regressão para as variáveis comprimento do ramo, diâmetro do caule, número de folhas, massa seca da parte aérea, da raiz e total, não

sofrendo efeito das concentrações de P testadas, sendo apresentados seus valores médios (Tabela 1).

**Tabela 1.** Equações de regressão para comprimento do ramo (cm), diâmetro do caule (mm), número de folhas, massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>), da raiz (g planta<sup>-1</sup>) e total (g planta<sup>-1</sup>) e relação massa seca da parte aérea e raiz de *Ipomoea pes-caprae*, após 35 dias de cultivo em solução nutritiva, em função da adubação fosfatada.

Característica	Equação	R <sup>2</sup>
Comprimento do ramo	$\bar{y}=86,47$	s/aj.
Diâmetro do caule	$\bar{y}=5,07$	s/aj.
Número de folhas	$\bar{y}=25,73$	s/aj.
Massa seca da parte aérea	$\bar{y}=13,20$	s/aj.
Massa seca de raiz	$\bar{y}=4,64$	s/aj.
Massa seca total	$\bar{y}=17,84$	s/aj.
MSPA/MSR	$\hat{y}=2,1709+3,4317P-2,4458P^2$	0,9377

Em que: P = fósforo; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; s/aj.= sem ajuste da regressão.

As plantas cultivadas de *Ipomoea pes-caprae* neste trabalho apresentaram comprimento médio do ramo de 86,47 cm e aproximadamente 25 folhas (Tabela 1), médias essas bem superiores as encontradas por Castellani e Santos (2006) em plantas de *I. pes-caprae* com um ano e quatro meses na Praia de Moçambique em Santa Catarina, as quais emitiram ramos com 18 cm e 10 folhas.

A relação parte aérea e raiz (MSPA/MSR) apresentou ajuste de regressão com modelo quadrático. Essa relação representa investimento de fotoassimilados para o crescimento de parte aérea e raiz, sendo que quanto menor a relação, maior será a produção de raízes e a capacidade da planta se estabelecer em solos com baixa fertilidade (BATISTA et al., 2015), consistindo uma estratégia da planta para utilizar o máximo de nutrientes do solo (CLARKSON, 1985). Com isso, um maior investimento na produção de raízes de *I. pes-caprae* pode ser obtido com a menor concentração de P estudada (0,032 mmol L<sup>-1</sup>), embora tenha apresentado comportamento quadrático (Tabela 1).

Horn et al. (2006) relatam que a elevada produção de raízes pode restringir o desenvolvimento da parte aérea da planta, todavia o mesmo não foi verificado com a espécie *I. pes-caprae*, uma vez que, independente da concentração de P analisada o comprimento do ramo, o diâmetro do caule, o número de folhas e a massa seca da parte aérea não foi alterada (Tabela 1).

A baixa relação parte aérea/raiz ainda apresenta como vantagem, a capacidade da planta tolerar o estresse hídrico (REIS et al., 2006), visto que a espécie *I. pes-caprae* habita áreas de restinga, na qual está presente solos com baixa capacidade de retenção de água.

### Teor de nutrientes

Os teores dos nutrientes N, P e Ca na parte aérea e P e Ca na raiz, apresentaram ajuste de regressão em função das concentrações de P na solução nutritiva. Não foi possível o ajuste de modelos de regressão para os nutrientes K, Mg e S na parte aérea, e N, K, Mg e S na raiz, sendo apresentados seus valores médios (Tabela 2).

**Tabela 2.** Equações de regressão para teor de nutrientes, teores máximos obtidos e suas doses determinantes, na parte aérea e na raiz de *Ipomoea pes-caprae*, após 35 dias de cultivo em solução nutritiva, em função da adubação fosfatada.

Nutriente <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Teor máximo	Dose determinante
	Parte aérea			mmol L <sup>-1</sup> P
N	$\hat{y}=32,9242+4,4296P$	0,6968	37,35	1
P	$\hat{y}=1,7129+8,7279P-6,0119P^2$	0,7777	4,88	0,726
K	$\bar{y}=26,13$	s/aj.	-	-
Ca	$\hat{y}=15,2518+2,5134P$	0,6205	17,77	1
Mg	$\bar{y}=4,39$	s/aj.	-	-
S	$\bar{y}=3,73$	s/aj.	-	-
Raiz				
N	$\bar{y}=31,70$	s/aj.	-	-
P	$\hat{y}=2,1601+14,2105P-10,1539P^2$	0,9517	7,13	0,700
K	$\bar{y}=25,88$	s/aj.	-	-
Ca	$\hat{y}=8,8324+6,7723P-6,3265P^2$	0,6233	10,64	0,535
Mg	$\bar{y}=5,02$	s/aj.	-	-
S	$\bar{y}=4,07$	s/aj.	-	-

Em que: <sup>1</sup>g kg<sup>-1</sup>; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; s/aj.= sem ajuste da regressão.

Na parte aérea, o teor dos nutrientes N e Ca aumentaram linearmente com o aumento das concentrações de P, estimados em 37,35 e 17,77 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, respectivamente (Tabela 2). Enquanto o teor de P na parte aérea apresentou ajuste

quadrático em resposta as concentrações de P na solução, com máximo teor obtido ( $4,88 \text{ g kg}^{-1}$ ) na dose de  $0,726 \text{ mmol L}^{-1}$  P na solução nutritiva (Tabela 2).

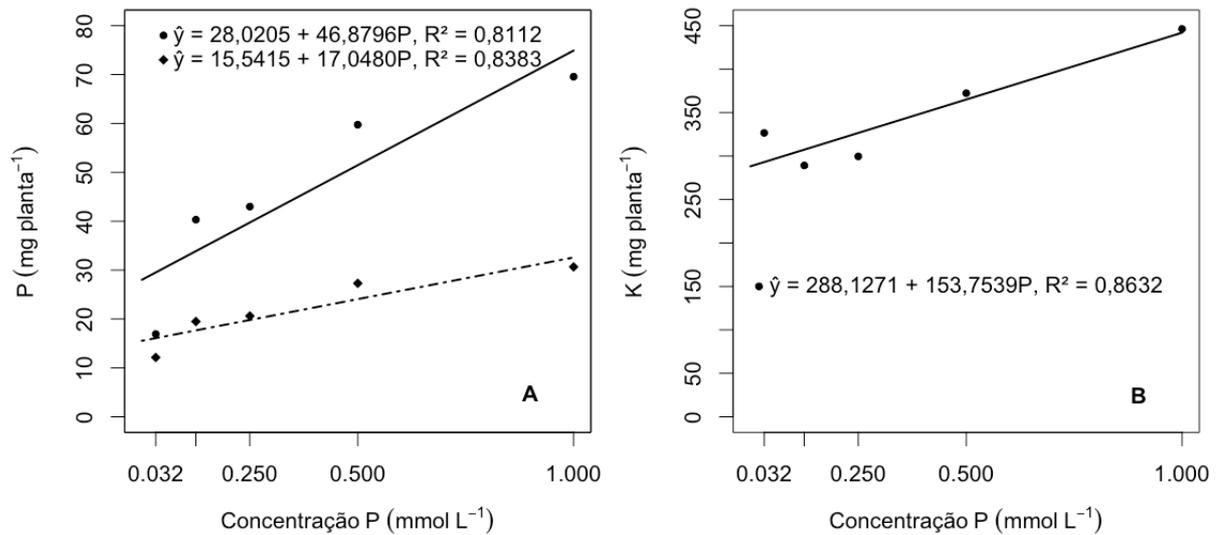
Na raiz, os teores de P e Ca apresentaram resposta quadrática com o aumento da concentração de P na solução, alcançando teores máximos de 7,13 e  $10,64 \text{ g kg}^{-1}$  com a utilização de  $0,700$  e  $0,535 \text{ mmol L}^{-1}$  de P, respectivamente (Tabela 2).

Para um bom crescimento e desenvolvimento das plantas, Epstein e Bloom (2006) sugerem teores mínimos de N, P, K, Ca, Mg e S nos tecidos das plantas de, 15, 2, 10, 5, 2 e  $1 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria seca, respectivamente. Os teores dos nutrientes encontrados para *I. pes-caprae* (Tabela 2), ficaram acima das necessidades mínimas sugeridas pelos autores supracitados, mesmo quando nas menores concentrações de P testadas. Isso mostra que mesmo em ambiente com baixa disponibilidade de fósforo a espécie apresentou teor nutricional satisfatório.

Árvores de *Joannesia princeps* e *Bixa arbórea* em área de restauração florestal pertencente a uma floresta de tabuleiro no bioma Mata Atlântica (CALDEIRA et al., 2017) apresentaram teor foliar de macronutrientes inferior ao das plantas de *I. pes-caprae*, provavelmente por estar em ambiente com menor disponibilidade de nutrientes do que neste estudo.

### **Conteúdo de nutrientes**

Nota-se que, houve efeito linear crescente das concentrações de P na solução sobre o conteúdo de P e K na parte aérea e de P na raiz, indicando que a concentração de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de P não foi suficiente em proporcionar máxima resposta (Figura 2). Resultados semelhantes foram encontrados em *Swietenia macrophylla* (mogno) (SANTOS et al., 2008) e *Stryphnodendron polyphyllum* (barbatimão) (CARNEVALI et al., 2016), onde os maiores níveis de adubação fosfata foi insuficiente para expressar o máximo potencial das espécies. O conteúdo dos demais nutrientes não foram influenciados pela concentração de P na solução nutritiva, sendo representados por suas médias (Tabela 3).



**Figura 2.** Conteúdo de P na parte aérea (●) e na raiz (◆) (A) e Conteúdo de K na parte aérea (●) (B) de *Ipomoea pes-caprae*, após 35 dias de cultivo em solução nutritiva, em função da adubação fosfatada.

O conteúdo de macronutrientes nos diferentes compartimentos das plantas de *I. pes-caprae* se encontram na Tabela 3. A sequência do conteúdo de nutrientes tanto na parte aérea, quanto na raiz foi de: N > K > Ca > P > Mg > S. Em um estudo com mudas de *Carapa guianensis* aos seis meses de idade sob doses crescentes de fósforo, realizado por Neves et al. (2004), foram observados conteúdo de macronutrientes na parte aérea na seguinte ordem: N (254,3 mg planta<sup>-1</sup>) > Ca (133,5 mg planta<sup>-1</sup>) > K (106,5 mg planta<sup>-1</sup>) > Mg (17,9 mg planta<sup>-1</sup>) > S (16,3 mg planta<sup>-1</sup>) > P (6,4 mg planta<sup>-1</sup>), com doses de fósforo variando de 241 a 287,5 mg dm<sup>-3</sup>. Os nutrientes mais extraídos por *C. guianensis* foram os mesmos da *I. pes-caprae* (N, K e Ca). No entanto, as quantidades acumuladas foram bem abaixo das encontradas neste trabalho. Essa inferioridade deve-se a diferença entre espécies e também ao fato de as mudas terem sido produzidas em solo, pois o P pode ser facilmente adsorvido pelos coloides, disponibilizando pequenas quantidades do nutriente para a planta, enquanto que no cultivo hidropônico os nutrientes estão prontamente disponíveis para absorção.

**Tabela 3.** Conteúdo máximo de macronutrientes em *Ipomoea pes-caprae*, após 35 dias de cultivo em solução nutritiva, em função da adubação fosfatada.

Conteúdo de macronutrientes (mg planta <sup>-1</sup> )					
Parte aérea			Raiz		
Nutriente	Conteúdo	Dose	Nutriente	Conteúdo	Dose
		determinante			determinante
		mmol L <sup>-1</sup> P			mmol L <sup>-1</sup> P
N	460,19	0,032 - 1,0	N	147,30	0,032 - 1,0
P	74,90	1,0	P	32,59	1,0
K	441,88	1,0	K	121,14	0,032 - 1,0
Ca	216,63	0,032 - 1,0	Ca	44,63	0,032 - 1,0
Mg	58,33	0,032 - 1,0	Mg	23,11	0,032 - 1,0
S	49,69	0,032 - 1,0	S	18,77	0,032 - 1,0

Em que: N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre.

O conteúdo de todos os macronutrientes foi maior na parte aérea do que na raiz (Tabela 3). Segundo Carnevali et al. (2016), há maior necessidade nutricional na parte aérea, em consequência do maior investimento no crescimento desta.

Em condições de deficiência de P, as plantas acumulam maior quantidade de fósforo nas raízes a fim de manter o crescimento radicular em detrimento da parte aérea (ABICHEQUER e BOHNEN, 1998), porém, as plantas de *I. pes-caprae* não apresentaram deficiência mesmo na menor concentração de fósforo, explicando assim o maior conteúdo de P na parte aérea do que na raiz.

### Eficiência nutricional

*Ipomoea pes-caprae* apresentou ajuste de regressão quanto aos índices de eficiência nutricional sob efeito das concentrações de P na solução nutritiva, mas, não foi possível ajustar modelos de regressão na eficiência de translocação e de utilização para alguns nutrientes. A eficiência nutricional indica a eficácia de absorção, sendo de maior interesse nos estádios iniciais de crescimento, e utilização dos nutrientes, com importância durante todo o ciclo da planta (EPSTEIN, 1972).

Tendo em vista que a eficiência de translocação indica a eficácia da planta em transportar nutrientes da raiz para a parte aérea, houve maior eficácia na seguinte ordem Ca > N = K > S > Mg > P (Tabela 4).

**Tabela 4.** Eficiência de translocação dos nutrientes de *Ipomoea pes-caprae*, após 35 dias de cultivo em solução nutritiva, em função da adubação fosfatada.

Eficiência de translocação		
Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>
N	$\hat{y} = 0,3702 + 0,0361P$	0,7550
P	$\bar{y} = 0,30$	s/aj.
K	$\hat{y} = 0,3412 + 0,0681P$	0,9422
Ca	$\hat{y} = 0,4335 + 0,0621P$	0,8864
Mg	$\bar{y} = 0,34$	s/aj.
S	$\bar{y} = 0,35$	s/aj.

Em que: N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; s/aj.= sem ajuste da regressão.

Os tratamentos influenciaram apenas a translocação de Ca, N e K para a parte aérea. A máxima eficiência de translocação de Ca (0,50), N (0,41) e K (0,41) foi alcançada com a máxima concentração de P avaliada (Tabela 4). O Ca também foi o nutriente mais translocado por outras espécies como carambola (ROZANE et al., 2007) e tomate (BEHLING et al., 1989).

Embora as concentrações de P na solução não tenham afetado a eficiência de translocação do P, ele foi o nutriente com menor eficiência de translocação (Tabela 4). Uma possível explicação para isso é uma estratégia desenvolvida pela espécie, para se adaptar em solos com teor limitado de P, alocando maior parte desse nutriente para manter o desenvolvimento da parte aérea de modo a não prejudicar seu sistema radicular, conforme observado na Tabela 3.

Para eficiência de absorção, foi possível o ajuste de modelos de regressão para todos os macronutrientes, sendo a máxima eficiência de absorção de N (304,48 mg g<sup>-1</sup>), P (50,29 mg g<sup>-1</sup>), Ca (117,93 mg g<sup>-1</sup>) e Mg (42,36 mg g<sup>-1</sup>) obtidas com concentrações de P variando de 0,712 a 0,767 mmol L<sup>-1</sup>, e a máxima eficiência de absorção de K (233,98 mg g<sup>-1</sup>) e S (35,90 mg g<sup>-1</sup>) foram alcançadas com a maior concentração de P (Tabela 5).

**Tabela 5.** Eficiência de absorção dos nutrientes de *Ipomoea pes-caprae*, após 35 dias de cultivo em solução nutritiva, em função da adubação fosfatada.

Eficiência absorção (mg g <sup>-1</sup> )		
Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>
N	$\hat{y} = 196,27 + 284,95P - 187,59P^2$	0,9714
P	$\hat{y} = 11,22 + 108,87P - 75,85P^2$	0,9633
K	$\hat{y} = 177,82 + 56,16P$	0,7760
Ca	$\hat{y} = 78,01 + 104,15P - 67,93P^2$	0,9516
Mg	$\hat{y} = 28,67 + 38,47P - 27,02P^2$	0,7764
S	$\hat{y} = 26,21 + 9,69P$	0,9041

Em que: N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

*Ipomoea pes-caprae* mostrou-se mais eficiente em absorver N, K e Ca (Tabela 5) e utilizar P, Mg e S (Tabela 6). A sequência de eficiência de absorção dos macronutrientes em *I. pes-caprae* foi de: N > K > Ca > P > Mg > S, seguindo a mesma ordem do conteúdo desses mesmos nutrientes na planta (Tabela 5). Esse comportamento similar entre eficiência de absorção e conteúdo máximo de nutrientes na planta pode ser explicado pelo resultado encontrado na massa seca da raiz, que não diferiu com o aumento da concentração de P na solução (Tabela 1), uma vez que a eficiência de absorção é a razão entre o conteúdo do nutriente na planta e a massa seca da raiz.

A maior eficiência de absorção e conteúdo na planta de N, K e Ca (Tabela 5 e 3) pode ter sido favorecida pela fonte de nitrogênio utilizada na solução nutritiva, pois nitrato tem relação com a absorção dos cátions K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> (DESAI e SUBBIAH, 1951). O nitrogênio atua como constituinte integral de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, co-enzimas, fitohormônios e no metabolismo secundário, o potássio tem papel fundamental na regulação do potencial osmótico, na abertura estomática, na síntese e manutenção de proteínas, na permeabilidade das membranas e na ativação de muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, enquanto o cálcio tem um papel sinalizador atuando como mensageiro secundário e estrutural como componente da parede celular (MARSCHNER, 1995; TAIZ et al., 2017). A intensa atividade metabólica da *I. pes-caprae* justifica a elevada exigência desses nutrientes, visto que estão diretamente relacionados com o crescimento e o desenvolvimento inicial das plantas.

De forma semelhante ao observado neste trabalho, os nutrientes mais eficientemente absorvidos por clones de cedro australiano (BATISTA et al., 2015), porta-enxertos de caramboleira (ROZANE et al., 2007) e clones de eucalipto (PINTO et al., 2011), foram N, K e Ca.

**Tabela 6.** Eficiência de utilização dos nutrientes de *Ipomoea pes-caprae*, após 35 dias de cultivo em solução nutritiva, em função da adubação fosfatada.

Eficiência utilização ( $\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ )		
Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>
N	$\bar{y} = 0,270$	s/aj.
P	$\hat{y} = 4,55 - 11,32P + 8,84P^2$	0,6395
K	$\bar{y} = 0,344$	s/aj.
Ca	$\bar{y} = 0,690$	s/aj.
Mg	$\bar{y} = 1,906$	s/aj.
S	$\bar{y} = 2,293$	s/aj.

Em que: N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; s/aj.= sem ajuste da regressão.

Como no presente trabalho todos os nutrientes, com exceção do P, foram fornecidos em concentrações únicas para o desenvolvimento das plantas, era de se esperar que a eficiência de utilização dos nutrientes N, K, Ca, Mg e S não apresentassem ajuste de regressão (Tabela 6).

A eficiência de utilização apresentou apenas ajuste de regressão para o P, sendo a máxima eficiência encontrada ( $4,20 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$ ) na menor concentração de P testada (Tabela 6). Valores elevados de eficiência de utilização indicam plantas com alta capacidade de utilizar nutrientes na síntese de biomassa (SIDDIQI e GLASS, 1981), e isso foi observado no cultivo de *I. pes-caprae*, pois mesmo com a concentração de P reduzida na solução a planta apresentou massa seca similar as plantas cultivadas com a maior concentração de P na solução (Tabela 1), demonstrando que a *I. pes-caprae* é capaz de se adaptar em solos com baixos níveis de P.

Redução da eficiência de utilização de fósforo com o aumento da dose aplicada tem sido verificada em *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* (STAHL et al., 2013), *Cedrela fissilis* (cedro-rosa), *Swietenia macrophylla* (mogno) e *Mimosa caesalpiniefolia* (sabiá) (FONTES et al., 2013).

O fósforo foi o nutriente mais eficientemente utilizado pela *I. pes-caprae* (Tabela 6) para produção de biomassa, assim como encontrado por Caldeira et al. (2002) para três procedências de *Acacia mearnsii* (acácia-negra) e por Carnevali et al. (2016) para *Stryphnodendron polyphyllum* (barbatimão). Para Vitousek (1984), em florestas tropicais com baixos teores de P, o fósforo é o único elemento eficientemente utilizado pelas plantas e para Fontes et al. (2013), a eficiência no uso do fósforo difere em função dos teores de P disponível no solo e da espécie.

A elevada eficiência de utilização de P, S e Mg (Tabela 6) relaciona-se as funções desempenhadas e ao envolvimento desses nutrientes no metabolismo das plantas. O fósforo desempenha um papel chave no metabolismo das plantas, envolvido na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, o enxofre está envolvido no transporte de elétrons pelas proteínas ferro-sulfurosas para posterior síntese de ATP, e para ser assimilado pelas plantas necessita ser ativado com uma reação entre o sulfato e o ATP, catalisada pela enzima ATP-sulfurilase (DROUX, 2004; TAIZ et al., 2017), já a produção de energia nas células está relacionada a muitas reações enzimáticas dependentes do íon magnésio, sendo que grande parte do ATP encontrado na célula está complexado ao íon magnésio (YAMANAKA et al., 2016). A relação entre esses três nutrientes explica a maior eficiência no uso do P, S e Mg quando houve aumento nas concentrações de P na solução nutritiva.

As espécies *Cupania vernalis*, *Matayba elaeagnoides*, *Nectandra lanceolata*, *Cedrela fissilis* e *Jacaranda micrantha* também apresentaram maior eficiência de utilização de P, S e Mg no bioma Mata Atlântica, conforme verificado por Bündchen et al. (2013).

A eficiência de utilização do nitrogênio foi inferior aos demais macronutrientes estudados (Tabela 6). Utilizar nitrogênio em grandes quantidades aumenta a eficiência no uso da radiação fotossinteticamente ativa, em contrapartida reduz a eficiência de utilização do N, já que o nitrogênio é componente das proteínas associadas ao aparato fotossintético (HIROSE e BAZZAZ, 1998). Isso foi comprovado, pois o nitrogênio foi o nutriente mais absorvido pela *I. pes-caprae*, entretanto, com a menor eficiência de uso.

Quando há desequilíbrio entre a absorção e a assimilação de nitrogênio, este nutriente é absorvido demasiadamente, quando disponível, sendo estocado no vacúolo na forma nitrato (MARSCHNER, 1995), podendo ser remobilizado

posteriormente, quando o suprimento de nitrogênio for insuficiente para atender a demanda da planta em situações mais críticas (VAN DER LEIJ et al., 1998). A espécie *I. pes-caprae* pode ter acumulado esse nutriente no vacúolo por ser uma espécie adaptada a solos com baixa fertilidade e não necessitar do nutriente no referido momento, estocando-o para uso em situações críticas, explicando também a menor eficiência no uso deste nutriente.

#### **1.3.4 Conclusões**

O crescimento e a produção de biomassa não foram alterados com a redução das concentrações de fósforo na solução nutritiva.

*Ipomoea pes-caprae* acumulou os macronutrientes na seguinte ordem decrescente: N > K > Ca > P > Mg > S.

*Ipomoea pes-caprae* apresentou baixa eficiência de absorção e translocação de fósforo comparado aos demais macronutrientes, porém foi altamente eficiente no uso do mesmo quando em concentrações reduzidas de P na solução nutritiva, podendo ser considerada uma espécie adaptada a ambientes com teor limitado de P.

## Referências

- ABICHEQUER, A.D; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.21-26, 1998. DOI: 10.1590/S0100-06831998000100003
- BACH, C.E. Interactive effects of herbivory and sand burial on growth in a tropical dune plant, *Ipomoea pes-caprae*. **Ecological Entomology**, v.23, n.3, p.238-245, 1998. DOI: 10.1046/j.1365-2311.1998.00133.x
- BATISTA, R.O.; FURTINI NETO, A.E.; DECETTI, S.F.C. Eficiência nutricional em clones de cedro-australiano. **Scientia Forestalis**, v.43, n.107, p.647-655, 2015.
- BEHLING, J.P.; GABELMAN, W.H.; GERLOFF, G.C. The distribution and utilization of calcium by two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines differing in calcium efficiency when grown under low-Ca stress. **Plant and Soil**, v.113, n.2, p.189-196, 1989. DOI: 10.1007/BF02280180
- BÜNDCHEN, M.; BOEGER, M.R.T.; REISSMANN, C.B.; SILVA, S.L.C. da. Status nutricional e eficiência no uso de nutrientes em espécies arbóreas da floresta subtropical no sul do Brasil. **Scientia Forestalis**, v.41, n.98, p.227-236, 2013.
- CALDEIRA, M.V.W.; MOREIRA, F.L.; GONÇALVES, E. de O.; CAMPANHARO, I.F.; CASTRO, K.C. Teor e redistribuição de nutrientes nas folhas de *Bixa arborea* Huber. e *Joannesia princeps* Vell. em área de restauração florestal. **Scientia Forestalis**, v.45, n.114, p.305-317, 2017. DOI: 10.18671/scifor.v45n114.07
- CALDEIRA, M.V.W.; RONDON NETO, R.M.; SCHUMACHER, M.V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, v.26, n.5, p.615-620, 2002. DOI: 10.1590/S0100-67622002000500012
- CARNEVALI, N.H. de S.; MARCHETTI, M.E.; VIEIRA, M. do C.; CARNEVALI, T. de O.; RAMOS, D.D. Eficiência nutricional de mudas de *Stryphnodendron polyphyllum* em função de nitrogênio e fósforo. **Ciência Florestal**, v.26, n.2, p.449-461, 2016. DOI: 10.5902/1980509822746.
- CARRASCO, P. G.; CASTANHEIRA, S.A.; BARBOSA, L.M.; OLIVEIRA, M.A.; COUTINHO, L.F. Produção e avaliação do crescimento de mudas de espécies florestais de restinga, com e sem adubação. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 3, 2012. Bento Gonçalves. **Resumos...** Bento Gonçalves, RS. Universidade de Caxias do Sul, 2012.
- CASTELLANI, T.T.; SANTOS, F.A.M. dos. Abundância, sobrevivência e crescimento de plântulas de *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br. (Convolvulaceae) na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.20, n.4, p.875-885, 2006. DOI: 10.1590/S0102-33062006000400012
- CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P. C. (Ed.) **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, p.45-75, 1985.

CORDELL, D.; DRANGERT, J.-O.; WHITE, S. The Story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, v.19, n.2, p.292–305. 2009. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009

DESAI, S.V.; SUBBIAH, B.V. Nitrification in relation to cation absorption by plants. **Proceedings of the Indian Academy of Sciences - Section B**, v.34, n.2, p.73-80, 1951. DOI: 10.1007/BF03050561

DROUX, M. Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism: a survey. **Photosynthesis Research**, v.79, n.3, p.331-348, 2004. DOI: 10.1023/B:PRES.0000017196.95499.11

EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives**. New York: John Wiley & Sons, 1972. 412p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 402p.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.6-16, 1998. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v02n01p6-16.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; LI, Y.C. The Role of Nutrient Efficient Plants in Improving Crop Yields in the Twenty First Century. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, n.6, p.1121-1157, 2008. DOI: 10.1080/01904160802116068

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. **ExpDes.pt: Experimental Designs Package (Portuguese)**. R package version 1.2.0, 2018. <https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>

FONTES, A.G.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. Eficiência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n.73, p.9-18, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.73.39

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: relatório técnico, período 2017-2018**. São Paulo, 2019. Disponível em <[https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica\\_17-18.pdf](https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf)>

HIROSE, T.; BAZZAZ, F. A. Trade-off between light and nitrogen-use efficiency in canopy photosynthesis. **Annals of Botany**, London, v.82, n.2, p.195-202, 1998. DOI: 10.1006/anbo.1998.0668

HORN, D.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.77-85, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000100009

JOHNSTON, A.E. **Soil and plant phosphate**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2000. 46p.

KANE, M.E.; BIRD, K.T.; LEE, T.M. In vitro propagation of *Ipomoea pes-caprae* (Railroad vine). **Journal of Coastal Research**, v.9, n.2, p.356-362, 1993.

LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v.37, n.2, p.613-626, 1991.

MARTINEZ, H.E.P.; SILVA FILHO, J.B. da. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. 3. ed. rev. Viçosa: UFV, 2006. 111p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. New York: Academic Press, 1995. 889p.

NEVES, O.S.C.; BENEDITO, D. da S.; MACHADO, R.V.; CARVALHO, J.G de. Crescimento, produção de massa seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. **Revista Árvore**, v.28, n.3, p.343-349, 2004. DOI: 10.1590/S0100-67622004000300004

PEIXOTO, J.R.V.; FAVORETO, C.J.R; LIMA, A.O.; RIBEIRO, B.A.L. Levantamento florístico das mudas de restinga produzidas no horto restinga no município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Revista Internacional de Ciências**, v.5, n.2, p.96-112, 2015. DOI: 10.12957/ric.2015.18566

PINTO, S.I. do C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J.C.L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. da S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.523-533, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200021

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>

REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; FONTAN, I.C.I.; MONTE, M.A.; GOMES, A.N.; OLIVEIRA, C.H.R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp. submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, v.30, n.6, p.921-931, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000600007

ROZANE, D.E.; PRADO, R.D.M.; FRANCO, C.F.; NATALE, W. Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por porta-enxertos de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1020-1026, 2007. DOI: 10.1590/S1413-70542007000400012

SAHOO, D.; JENA, J.; DINDA, A. A Review on *Ipomoea pes-caprae* (Beach Morning Glory): Value of Medicinal Plants in Coastal Area of India. **Journal of Medical and Pharmaceutical Innovation**, v.3, n.17, p.43-46, 2016. DOI: 10.15272%2Fjmp.v3i17.200

SANTOS, R.A.; TUCCI, C.A.F.; HARA, F.A. dos S.; SILVA, W.G. da. Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v.38, n.3, p.453-458, 2008. DOI: 10.1590/S0044-59672008000300009

SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico vermelho (*Parapiptadenia rigida*

(Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.149-155, 2004. DOI: 10.1590/S0100-67622004000100019.

SIDDIQI, M.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, n.3, p.289-302, 1981. DOI: 10.1080/01904168109362919

STAHL, J.; ERNANI, P.R.; GATIBONI, L.C.; CHAVES, D.M.; NEVES, C.U. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. **Ciência Florestal**, v.23, n.2, p.287-295, 2013. DOI: 10.5902/198050989275

SWIADER, J.M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.10, p.1687-1699, 1994. DOI: 10.1080/01904169409364840

SYERS, J.; JOHNSTON, A.; CURTIN, D. **Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use**. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations, Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, n.18, 2008.

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

VAN DER LEIJ, M.; SMITH, S.J.; MILLER, A.J. Remobilization of vacuolar stored nitrate in barley root cells. **Planta**, v.205, n.1, p.64-72, 1998. DOI: 10.1007/s004250050297

VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology**, v.65, n.1, p.285-298, 1984. DOI: 10.2307/1939481

WHITTEN, A.J.; DAMANIK, S.J.; HISYAM, J.A.N. **The Ecology of Sumatra**. Yogyakarta, Indonesia: Gadjaja Mada University Press, 1987. 583p.

YAMANAKA, R.; TABATA, S.; SHINDO, Y.; HOTTA, K.; SUZUKI, K.; SOGA, T.; OKA, K. Mitochondrial Mg<sup>2+</sup> homeostasis decides cellular energy metabolism and vulnerability to stress. **Scientific Reports**, v.6, p.1-12, 2016. DOI: 10.1038/srep30027

## Apêndice



**Figura 1.** Estufa hidropônica utilizada para a condução do experimento.



**Figura 2.** Caixas d'água e painéis controladores ao fundo mostrando o delineamento casualizado, representando os diferentes tratamentos.



**Figura 3.** Preparo das soluções nutritivas com a utilização de três soluções estoque por caixa.



**Figura 4.** Medidores portáteis de pH e condutividade elétrica utilizados.



**Figura 5.** Porte das mudas transplantadas para o sistema (A), disposição e condução nos perfis da bancada hidropônica (B).

## 1.4 ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE FOLHAS COMPOSTAS DE MUDAS DE *Canavalia rosea* ATRAVÉS DE DIMENSÕES LINEARES DO ÚLTIMO FOLÍOLO

“Publicado no periódico *Journal of Agricultural Science*”

### Resumo

Objetivou-se a partir deste trabalho propor modelos de equações a partir de medidas das dimensões lineares do último folíolo para a estimativa da área foliar das folhas compostas de *Canavalia rosea*. Para tanto, foram utilizadas 441 folhas compostas de 198 mudas, com 45 dias após a semeadura, produzidas em viveiro na Universidade Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, localizado no município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. Foram medidos o comprimento (L) ao longo da nervura principal e a largura (W) máxima do limbo foliar do último folíolo de cada folha composta, além da área foliar de todos os folíolos. Posteriormente, determinou-se o produto da multiplicação do comprimento com a largura (LW) e a área foliar observada (OLA) a partir da soma da área foliar dos folíolos. Diante destas medidas ajustou-se equações linear e não linear dos modelos lineares de primeiro grau, quadrática e potencial, onde, OLA foi usada como variável dependente em função de L, W e LW como variável independente. Com base nos modelos testados

obteve-se equações para a área foliar estimada (ELA). Os valores médios de ELA e OLA foram comparadas pelo teste *t* de Student a 5% de probabilidade. Ainda como critério para validação foi determinado o erro absoluto médio (EAM), a raiz quadrada média do erro (RQME) e o índice d Willmott. A melhor equação ajustada foi escolhida através dos valores não significativos no comparativo das médias de ELA e OLA, valores de EAM e RQME mais próximos a zero, valor do índice d próximo ao unitário e maiores valores de  $R^2$ . Assim, a área foliar da folha compostas de mudas de *Canavalia rosea* pode ser estimada pelo modelo potencial representado pela equação  $ELA = 2.2951(LW)^{0.9474}$ , de maneira rápida, fácil e não destrutiva.

**Palavras chave:** modelos matemático, métodos não destrutivos, beach bean.

## Abstract

The objective of this work was to propose models of equations from measurements of the linear dimensions of the last leaflet for the estimation of the leaf area of the composite leaves of *Canavalia rosea*. For this purpose, 441 composite leaves of 198 seedlings were used, 45 days after sowing, produced in nursery and belonging to the Federal University of Espírito Santo, Campus São Mateus, located in the municipality of São Mateus, North of the State of Espírito Santo, Brazil. The length (L) along the main midrib and the maximum leaf width (W) of the last leaflet of each composite leaf, as well as the leaf area of all leaflets, were measured. Subsequently, it was determined the product of the multiplication of the length with the width (LW) and leaf area observed (OLA) from the sum of leaf area of leaflets. In front of these measures were adjusted linear and non-linear equations of linear first degree, quadratic and power models, where, OLA was used as a dependent variable in function of L, W and LW as independent variable. Based on the models tested, we obtained equations for the estimated leaf area (ELA). The mean values of ELA and OLA were compared by Student's t test 5% probability. The mean absolute error (MAE), the root mean square error (RMSE) and the Willmott d index, were determined as criteria for validation. The best adjusted equation was chosen through the non-significant values in the comparison of the means of ELA and OLA, values of MAE and RMSE closer to zero, value of the index d near the unitary and higher values of  $R^2$ . Thus, the leaf area of the composite leaf of *C. rosea* seedlings can be estimated by the power model represented by equation  $ELA = 2.2951(LW)^{0.9474}$  quickly, easily and non-destructively.

**Keywords:** mathematical models, non-destructive methods

### 1.4.1 Introdução

*Canavalia rosea* é uma espécie de restinga, pertencente à família Leguminosae, conhecida popularmente como feijão de praia, feijão de soja e feijão de porco (VATANPARAST, 2010). Sua distribuição se apresenta em todas áreas costeiras tropicais e subtropicais do mundo. Sua importância varia desde o consumo alimentício, até a utilização como forragem, fertilizantes, compostos bioativos, indústria farmacêuticas, estabelecimento do solo e no controle de erosão (SRIDHAR e BHAGYA, 2007; MOHAJAER et al., 2017)

Devido a intensa relação entre as folhas e os processos fisiológicos, é fundamental a estimativa da área foliar de maneira simples e precisa em estudos ecológicos e agrônômicos, que envolvam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, interceptação de luz, eficiência fotossintética, evapotranspiração e respostas relacionados a fertilizantes e irrigação (BLANCO e FOLEGATTI, 2005; SPANN e HEEREMA, 2010).

Existem diferentes formas de se determinar a área foliar de uma planta, que varia desde os métodos diretos, até os métodos indiretos (CARVALHO et al., 2017). Em sua grande maioria os métodos diretos são destrutivos e onerosos por exigir medidores eletrônicos específicos (POMPELLI et al., 2012). Já os métodos indiretos, apresentam maior simplicidade e rapidez na sua execução, e além de serem não destrutivos, permitem que medidas sucessivas sejam feitas ao longo do tempo (GAMIELY et al., 1991; SPANN e HEEREMA, 2010).

Um dos métodos mais empregados para a determinação de área foliar de maneira indireta é através de modelos de equações matemáticas preditivas da área foliar real, em função de dimensões lineares das folhas e de suas respectivas combinações, o que em grande parte dos casos indicam alto grau de precisão (GAMIELY et al., 1991; BLANCO e FOLEGATTI, 2005). Porém, é necessário o ajuste de modelos matemáticos para cada espécie de interesse (SPANN e HEEREMA, 2010).

Desta forma, são notórios o grande número de trabalhos envolvendo equações matemáticas como método não destrutivo para estimar a área foliar em uma ampla gama de espécies vegetais como *Cucumis sativus* L. (CHO et al., 2007), *Helianthus annuus* L. (ROUPHAEL et al., 2007), *Jatropha curcas* (POMPELLI et al., 2012), *Vitis vinifera* L. (BUTTARO et al., 2015), *Coffea canephora* (SCHMILDT et al.,

2015), *Rosa hybrida* L. (COSTA et al., 2016), *Crotalaria juncea* (CARVALHO et al., 2017), *Prunus armeniaca* L. (CIRILLO et al., 2017), *Litchi chinensis* Sonn. (OLIVEIRA et al., 2017), guava (VITÓRIA et al., 2018), *Carica papaya* L. (OLIVEIRA et al., 2019) e *Plectranthus barbatus* Andrews (RIBEIRO et al., 2019). Porém, estudos envolvendo espécies da restinga brasileira são escassos, além disso, a determinação da área foliar das folhas compostas pode ser trabalhosa e demorada devido ao grande número de folíolos que precisam ser medidos. Assim, objetivou-se com a realização deste estudo propor equações matemática a partir de medidas das dimensões lineares do último folíolo para a estimativa da área foliar de folhas compostas de *Canavalia rosea*.

#### 1.4.2 Material e Métodos

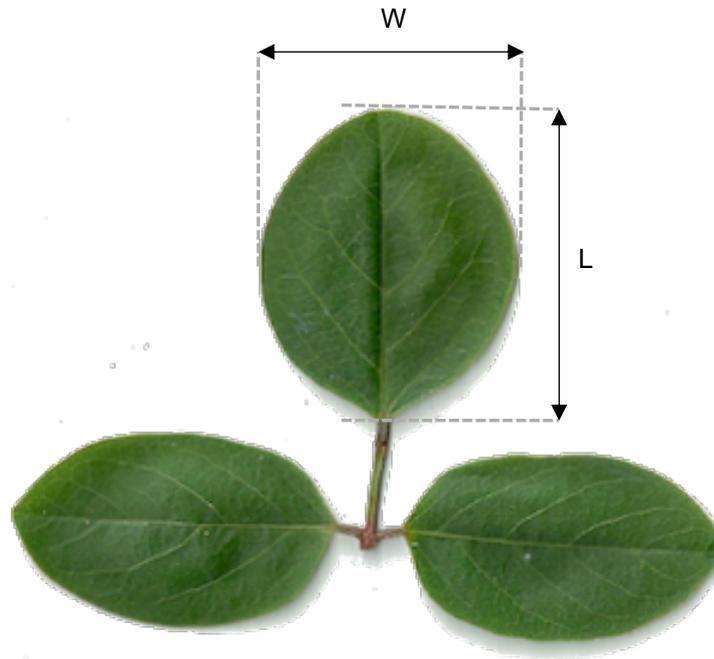
Para a realização do presente estudo foram utilizadas 441 folhas compostas de 198 mudas de *Canavalia rosea* obtidas em viveiro, na Universidade Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, localizado no município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil, com coordenadas geográficas de 18° 40' 36" de latitude Sul e 39° 51' 35" de longitude Oeste. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo tropical Aw (tropical úmido), com chuvas no verão e inverno seco (ALVARES et al., 2014).

As sementes utilizadas foram obtidas do Centro Sócio-Cultural e Ambiental José Bahia, situada no município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. Para o preparo das mudas utilizou-se tubetes com volume de 290 cm<sup>3</sup> preenchidos com substrato a base de areia, argila e fibra de coco, acrescido com fertilizante. A irrigação foi feita por sistema de aspersão com lâmina de irrigação de 8 mm d<sup>-1</sup> e frequência de rega de 1 hora por dia, distribuídas em 4 aplicações de 15 minutos. As mudas foram mantidas em casa de vegetação revestida com tela sombrite<sup>®</sup> de 30% de sombreamento até que completassem 45 dias após a semeadura.

Em laboratório, foi medido o último folíolo das 441 folhas compostas de *Canavalia rosea*. Cada folha composta foi escaneada em Scanner HP Deskjet F4280<sup>®</sup> e as imagens salvas em formato TIF com 75 dpi, cada folha era composta por 3 folíolos. Foi medido o comprimento (L) ao longo da nervura principal e a largura (W) máxima do limbo foliar, em cm do último folíolo de cada folha composta (Figura 1),

além da área foliar de todos os folíolos com auxílio do programa ImageJ® (SCHINDELIN et al., 2015).

O produto do comprimento com a largura (LW), foi obtido multiplicando L e W e a área foliar observadas (OLA, em cm<sup>2</sup>) a partir da soma da área foliar dos folíolos.



**Figura 1.** Representação da medida do comprimento (L) ao longo da nervura principal e largura (W) máxima do limbo foliar do último folíolo de folhas de mudas de *Canavalia rosea*.

Os dados foram submetidos a análise de estatística descritiva, obtendo os valores mínimos, máximos, médios, amplitude e coeficiente de variação (CV). Para a estimativa da área foliar de folhas composta de *Canavalia rosea* através das dimensões do último folíolo, foram obtidas nove equações de modelagem com base na amostragem de 396 folhas compostas, para tanto, utilizou-se os modelos linear de primeiro grau representado por  $ELA = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1x$ , quadrático representado por  $ELA = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1x + \hat{\beta}_2x^2$  e potencial representado por  $ELA = \hat{\beta}_0x^{\hat{\beta}_1}$ , em que OLA foi usada como variável dependente (y) e L, W e LW como variáveis independentes (x).

A validação dos dados foi baseada na amostragem de 45 folhas compostas separadas para tal finalidade. Substituíram-se todos os valores de L, W e LW nas equações ajustadas para a modelagem, obtendo a área foliar estimada (ELA), em cm<sup>2</sup>. Ajustou-se então um modelo de equação linear simples para cada modelo proposto, onde ELA foi usada como variável dependente em função de OLA. Posteriormente, comparou-se os valores médios de ELA e OLA pelo teste *t* de Student

a 5% de probabilidade. O erro absoluto da média (EAM), a raiz quadrada média do erro (RQME) e o índice d Willmott (WILLMOTT, 1981), para todas as equações também foram determinados por meio das equações 1, 2 e 3.

$$EAM = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n |ELA - OLA| \quad (1)$$

$$RQME = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (ELA - OLA)^2} \quad (2)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (ELA_i - OLA_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|ELA_i - \bar{OLA}| + |OLA_i - \bar{OLA}|)^2} \right] \quad (3)$$

Em que: EAM, é o erro absoluto da média; RQME, a raiz quadrada média do erro; d, o índice d Willmott; ELA, são os valores da área foliar estimada; OLA, os valores da área foliar observada; n o número de folhas contidas na amostragem para validação, sendo n = 45, no presente estudo.

Os critérios utilizados para determinação do melhor modelo para a estimativa da área foliar de *Canavalia rosea* foram baseados nos valores não significativos do comparativo das médias de ELA e OLA, valores de EAM e RQME mais próximos de zero e índice d mais próximo do unitário. Todas as análises estatísticas foram realizadas no do software R (R CORE TEAM, 2018), através do pacote de dados 'ExpDes.pt' versão 1.2 (FERREIRA et al., 2018).

### 1.4.3 Resultados e Discussão

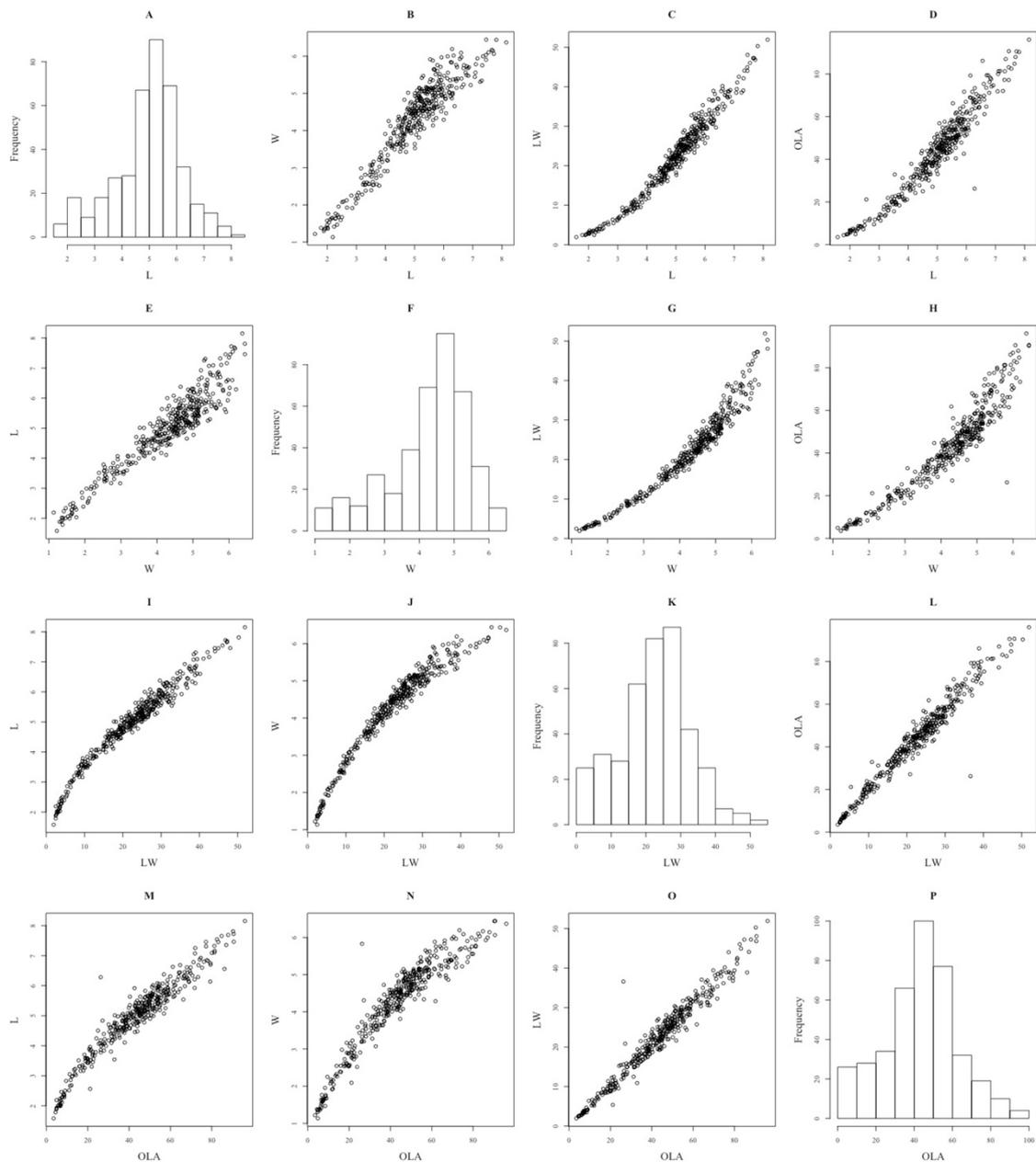
As folhas amostradas para o ajuste dos modelos e para a validação dos dados apresentaram elevada amplitude para o comprimento (L), largura (W), produto do comprimento com a largura (LW) e área foliar observada (OLA) (Tabela 1). A elevada amplitude pode ser comprovada devida a alta variabilidade dos dados, superando os 22% para todas as características. Esses valores são considerados segundo a classificação de Pimentel-Gomes (2009) como altos ou muito altos. Entretanto, essa alta variabilidade é fundamental na obtenção de modelos matemáticos, pois a equação selecionada permite estimar a área foliar para folhas de vários tamanhos, sempre respeitando os limites dos valores analisados (OLIVEIRA et al., 2017).

Note que os valores de L, W, LW e OLA da amostragem utilizada para a validação se encontram dentro do intervalo dos valores utilizados para a realização da modelagem. Essa constatação é importante pois segundo Levine et al. (2017), os valores utilizados para validação não podem extrapolar os valores utilizados para os ajustes da modelagem.

**Tabela 1.** Valor mínimo, máximo, médio, amplitude e de coeficiente de variação (CV) das variáveis: comprimento (L); largura (W); produto do comprimento com a largura (LW), e área foliar observada (OLA) de folhas de mudas de *Canavalia rosea*.

Variável	Unidade	Mínimo	Máximo	Médio	Amplitude	CV (%)
396 folhas para modelagem						
L	cm	1,58	8,15	4,96	6,57	25,02
W	cm	1,13	6,44	4,25	5,31	27,45
LW	cm <sup>2</sup>	1,92	51,90	22,49	49,98	44,83
OLA	cm <sup>2</sup>	3,50	96,06	43,57	92,56	44,02
45 folhas para validação						
L	cm	1,94	7,42	5,21	5,50	22,35
W	cm	1,34	6,26	4,51	4,92	24,49
LW	cm <sup>2</sup>	2,61	45,26	24,64	42,65	39,52
OLA	cm <sup>2</sup>	4,33	88,08	47,64	83,75	38,55

Observe, através do diagrama de dispersão (Figura 2) que houve associação linear e não linear para OLA em função de L, W e LW. Esse mesmo comportamento foi observado por Carvalho et al. (2017) estudando a estimativa da área foliar para *Crotalaria juncea*, sugerindo então que modelos lineares e não lineares devem ser gerados e testados nestes casos. Desta forma, no presente estudo foram ajustados os modelos linear de primeiro grau, quadrático e potencial para cada dimensão analisada.



**Figura 2.** Histograma de frequência e gráfico de distribuição da relação comprimento (L), largura (W) e produto do comprimento com a largura (LW), de folhas compostas de mudas de *Canavalia rosea*.

Na Tabela 2, estão representadas as equações dos modelos para estimativa de área foliar de *Canavalia rosea*. Note que os melhores ajustes foram utilizando LW como variável independente, com  $R^2$  superior a 0,95. Observe ainda que as equações baseadas em OLA como variável dependente em função de L e W não apresentaram bom ajuste. Menores valores de  $R^2$  baseados em apenas uma medida como variáveis independentes também foram encontradas por Buttaró et al. (2015) e Oliveira et al. (2017) constatando que estas variáveis não apresentam boa relação com OLA. Porém, conforme sugerido por Antunes et al. (2008), equações matemáticas não

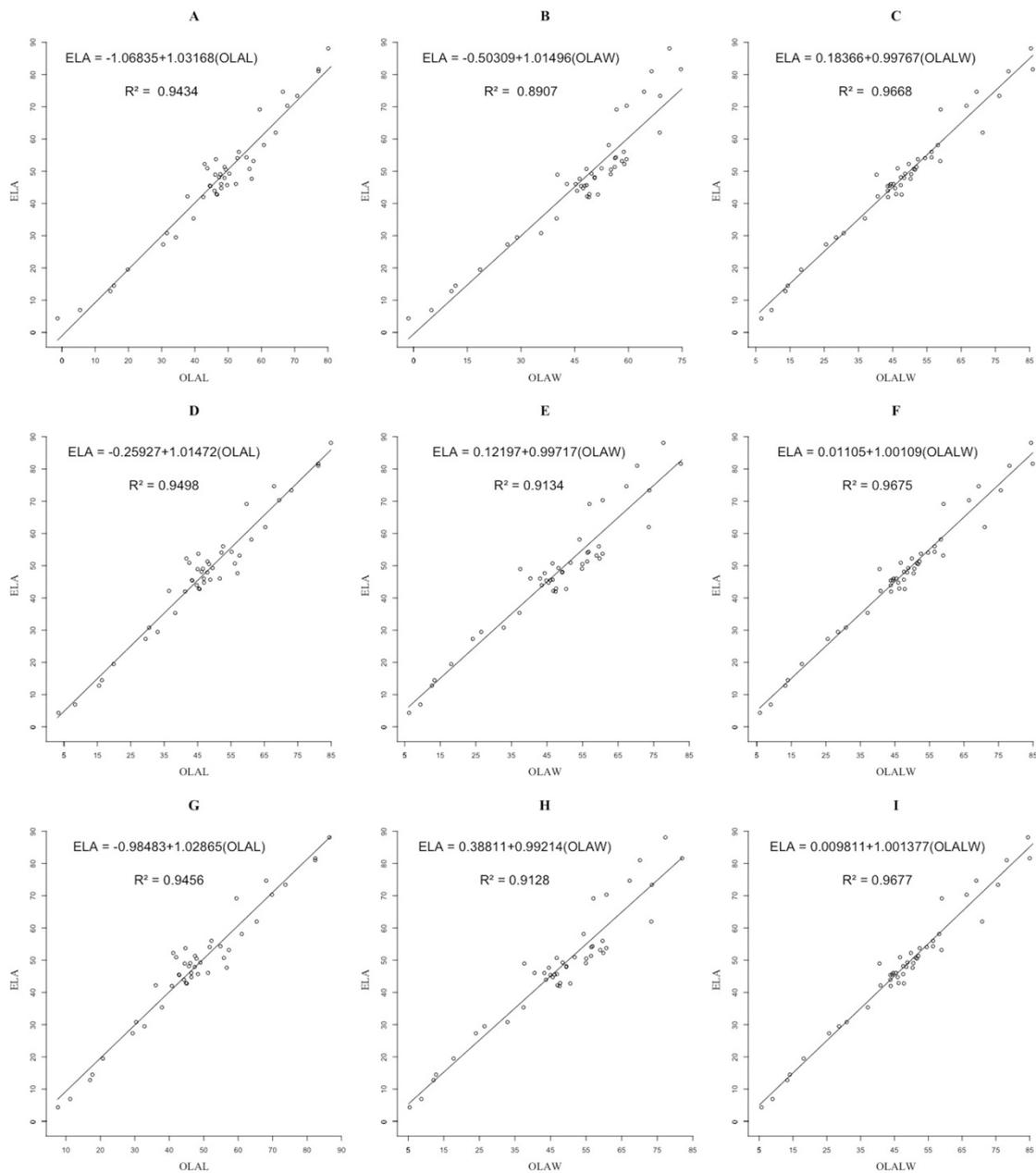
devem ser escolhidas apenas pelo maior valor de  $R^2$  pois esta prática pode causar estimativas errôneas da área foliar. Desta forma, a validação dos modelos através de métodos apropriados se torna indispensável para estimar a área foliar com precisão (FASCELLA et al., 2013).

**Tabela 2.** Equação com ajuste linear de primeiro grau, quadrático e potencial e seu respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) utilizando a área foliar observada (OLA) como variável dependente, em função do comprimento (L), largura (W) e produto do comprimento com a largura (LW), de folhas composta de mudas de *Canavalia rosea*.

Modelo	Equação	$R^2$
Linear	$ELA = -30,1381 + 14,8531(L)$	0,9246
Linear	$ELA = -22,2932 + 15,4773(W)$	0,8890
Linear	$ELA = 1,76473 + 1,85898(LW)$	0,9552
Quadrático	$ELA = -13,8766 + 7,3285(L) + 0,8056(L)^2$	0,9331
Quadrático	$ELA = 0,07305 + 2,20261(W) + 1,75252(W)^2$	0,9114
Quadrático	$ELA = 0,791287 + 1,967282(LW) - 0,002408(LW)^2$	0,9555
Potência	$ELA = 2,3289(L)^{1,8030}$	0,9268
Potência	$ELA = 3,1761(W)^{1,7720}$	0,9121
Potência	$ELA = 2,2951(LW)^{0,9474}$	0,9555

Após a validação dos dados com base na amostragem de 45 folhas de *Canavalia rosea*, verificou-se que das nove equações, as que utilizaram LW como variável independente apresentaram maiores valores de  $R^2$ , sendo a equação de modelo potência levemente superior aos modelos linear de primeiro grau e quadrático. Essa mesma equação foi a que apresentou maior valor de  $R^2$  no ajuste da modelagem, conferindo melhor correlação entre OLA e ELA (Tabela 3).

Observe na Figura 3, que modelos envolvendo uma única medida foram menos aceitáveis na estimativa de área foliar de *Canavalia rosea* devido ao seu menor valor de  $R^2$ . Além disso, as equações baseadas em L e W individualmente apresentaram valores de EAM e RQME mais distantes de zero e valores do índice de Willmott mais distante de um, quando comparados aos modelos utilizando LW (Tabela 3), critérios estes que devem ser utilizados para seleção do modelo que melhor se ajuste a estimativa da área foliar (OLIVEIRA et al., 2017). Verificou-se ainda que as médias comparadas de OLA e ELA não diferiram estatisticamente pelo teste *t* de Student a 5% de probabilidade em todos os modelos propostos (Tabela 3), atestando boa similaridade das médias de OLA e ELA.



**Figura 3.** Equação de validação de ajuste linear de primeiro grau e seu respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) usando a área foliar estimada (ELA) como variável dependente obtida pela modelagem de equações linear de primeiro grau (A, B e C), e quadrática (D, E e F) e potência (G, H e I), em função do comprimento foliar observado (OLAL), largura (OLAW) e produto do comprimento com a largura (OLALW) da folha de *Canavalia rosea*.

**Tabela 3.** Área foliar observada (OLA) e área foliar estimada (ELA) de equações linear de primeiro grau, quadrática e potencial para as variáveis independente comprimento (L), largura (W) e produto do comprimento com a largura (LW), além do valor de  $p$ , erro absoluto do erro (EAM), raiz quadrada média do erro (RQME) e índice d Willmott de folhas composta de mudas de *Canavalia rosea* utilizadas para validação.

Modelo	Variável	OLA	ELA	$p^*$ valor	EAM	RQME	d
Linear	L		47,2185	0,9098	3,6051	4,4253	0,9844
Linear	W		47,4392	0,9560	4,8565	6,0831	0,9698
Linear	LW		47,5732	0,9849	2,3970	3,3462	0,9915
Quadrático	L		47,2105	0,9090	3,1609	4,1481	0,9866
Quadrático	W	47,6460	47,6589	0,9973	4,2078	5,4048	0,9769
Quadrático	LW		47,5830	0,9870	2,3798	3,3126	0,9916
Potência	L		47,2762	0,9221	3,4032	4,3306	0,9852
Potência	W		47,6322	0,9971	4,2236	5,4267	0,9768
Potência	LW		47,5707	0,9844	2,3601	3,3047	0,9917

\*Valores de  $p$  maior de 0,05 indica que a área foliar observada (OLA) e área foliar estimada (ELA) não diferem pelo teste  $t$  de Student.

A utilização de apenas uma dimensão linear, na pratica é mais fácil de ser executado tornando o trabalho menos oneroso. Porém, esses modelos são ajustados apenas para casos específicos, sendo menos preciso para a maioria das espécies (ESPINDULA et al., 2018). Portanto, modelos utilizando a relação de dimensões lineares como encontrado neste estudo são notoriamente mais utilizados para diversas espécies como *Jatropha curcas* (POMPELLI et al., 2012), *Vitis vinifera* L. (BUTTARO et al., 2015), *Coffea canephora* (SCHMILDT et al., 2015), *Crotalaria juncea* (CARVALHO et al., 2017) e *Litchi chinensis* Sonn. (OLIVEIRA et al., 2017).

Assim, a equação de modelo potência representada por  $ELA = 2,2951(LW)^{0,9474}$  com base no produto do comprimento com a largura como variável independente, pode ser utilizada para estimar a área foliar de *Canavalia rosea* com melhor precisão. Essas variáveis podem ser medidas de maneira rápida, sem a necessidade da utilização de equipamento específico e oneroso, além disso, após o estabelecimento do modelo, as equações matemáticas podem ser utilizadas em pesquisas posteriores sem a obrigação da destruição de novas folhas para o estabelecimento de novos modelos (SPANN e HEEREMA, 2010).

#### 1.4.4 Conclusão

A área foliar de folhas compostas de mudas de *Canavalia rosea* pode ser mensurada com melhor precisão através do produto da multiplicação comprimento ao longo da nervura principal com a largura máxima do limbo foliar (LW) do último folíolo, a partir do modelo potência representado pela equação  $ELA = 2,2951(LW)^{0,9474}$ , de maneira rápida, fácil e não destrutiva.

## Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ANTUNES, W.C.; POMPELLI, M.F.; CARRETERO, D.M.; DAMATTA, F.M. Allometric models for nondestructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of Applied Biology**, v.153, n.1, p.33-40, 2008. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2008.00235
- BUTTARO, D.; ROUPHAEL, Y.; RIVERA, C.M.; COLLA, G.; GONNELLA, M. Simple and accurate allometric model for leaf area estimation in *Vitis vinifera* L. genotypes. **Photosynthetica**, v.53, n.3, p.342-348, 2015. DOI: 10.1007/s11099-015-0117-2
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agricola**, v.62, n.4, p.305-309, 2005. DOI: 10.1590/S0103-90162005000400001
- CARVALHO, J. O.; TOEBE, M.; TARTAGLIO, F. L.; BANDEIRA, C. T.; TAMBARA, A. L. Leaf area estimation from linear measurements in different ages of *Crotalaria juncea* plants. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.89, n.3, p.1851-1868, 2017. DOI: 10.1590/0001-3765201720170077
- CIRILLO, A.; PANNICO, A.; BASILE, B.; RIVERA, C.M.; GIACCONE, M.; COLLA, G.; PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. A simple and accurate allometric model to predict single leaf area of twenty-one European apricot cultivars. **European Journal of Horticultural Science**, v.82, n.2, p.65-71, 2017. DOI: 10.17660/eJHS.2017/82.2.1
- CHO, Y.Y.; OH, S.; OH, M.M.; SON, J.E. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value. **Scientia Horticulturae**, v.111, n.4, p.330-334, 2007. DOI: 10.1016/j.scienta.2006.12.028
- COSTA, A.P.; PÔÇAS, I.; CUNHA, M. Estimating the leaf area of cut roses in different growth stages using image processing and allometrics. **Horticulturae**, v.2, n.6, p.1-10, 2016. DOI: 10.3390/horticulturae2030006
- ESPINDULA, M. C.; PASSOS, A. M. A.; ARAÚJO, L. F. B.; MARCOLAN, A. L.; PARTELLI, F. L.; RAMALHO, A. R. Indirect estimation of leaf area in genotypes of 'Conilon' coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner). **Australian Journal of Crop Science**, v.12, n.6, p.990-994, 2018. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.06.PNE1090
- FASCELLA, G.; DARWICH, S.; ROUPHAEL, Y. Validation of a leaf area prediction model proposed for rose. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.73, n.1, p.73-76, 2013. DOI: 10.4067/S0718-58392013000100011
- FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. **ExpDes.pt: Experimental Designs Package (Portuguese)**. R package version 1.2.0, 2018. <https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>
- GAMIELY, S.; RANDLE, W.M.; MILKS, W.A.; SMITTLE, D.A. A rapid and non-destructive method for estimating leaf area of onions. **Hortscience**, v.26, n.2, p.206, 1991. DOI: 10.21273/HORTSCI.26.2.206

LEVINE, D.M.; STEPHAN, D.F.; SZABAT, K.A. **Estatistic for managers using Microsoft Excel: Global edition**. 8.ed. London: Person, 2017. 728p.

MOHAJER, S.; TAHA, R.M.; MOHAMED, N.; RAZAK, U.N.A. Baybean (*Canavalia rosea* (Sw.) DC.); organogenesis, morphological and anatomical studies. **Gayana Botanica**, v.74, n.1, p.120-130, 2017. DOI: 10.4067/S0717-66432017005000321

OLIVEIRA, P.S.; SILVA, W.; COSTA, A.A.M.; SCHMILDT, E.R.; VITÓRIA, E.L. Leaf area estimation in litchi by means of allometric relationships. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.39(Special), p.1-6, 2017. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017403>

OLIVEIRA, V.S.; SANTOS, K.T.H.; AMBRÓSIO, T.J.; SANTOS, J.S.H.; SANTANA, W. R.; MALIKOUSKI, R.G.; ... SCHMILDT, E.R. Mathematical Modeling for Leaf Area Estimation from Papaya Seedlings 'Golden THB'. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.4, p.496-505, 2019. DOI: 10.5539/jas.v11n5p496

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15.ed. Piracicaba, SP: Fealq, 2009. 451p.

POMPELLI, M.F.; ANTUNES, W.C.; FERREIRA, D.T.R.G.; CAVALCANTE, P.G.S.; WANDERLEY FILHO, H.C.L.; ENDRES, L. Allometric models for non-destructive leaf area estimation of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v.36, p.77-85, 2012. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.10.010

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. <https://www.R-project.org/>

RIBEIRO, A.M.S.; MUNDIM, D.A.; MENDONÇA, D.C.; SANTOS, K.T.H.; SANTOS, J.S.H.; OLIVEIRA, V.S.; ...SCHMILDT, E.R. Leaf Area Estimation of Garden Boldo from Linear Dimensions. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.4, p.461-469, 2019. DOI: 10.5539/jas.v10n12p272

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; FANASCA, S.; KARAM, F. Leaf area estimation of sunflower leaves from simple linear measurements. **Photosynthetica**, v.45, n.2, p.306-308, 2007. DOI: 10.1007/s11099-007-0051-z

SCHINDELIN, J.; RUEDEN, C.T.; HINER, M.C.; ELICEIRI, K.W. The ImageJ Ecosystem: An Open Platform for Biomedical Image Analysis. **Molecular Reproduction and Development**, v.82, n.7-8, p.518-529, 2015. DOI: 10.1002/mrd.22489

SCHMILDT, E.R.; AMARAL, J.A.T.; SANTOS, J.S.; SCHMILDT, O. Allometric model for estimating leaf area in clonal varieties of coffee (*Coffea canephora*). **Revista Ciência Agrônômica**, v.46, n.4, p.740-748, 2015. DOI: 10.5935/1806-6690.20150061

SPANN, T.M.; HEEREMA, R.J. A simple method for nondestructive estimation of total shoot leaf area in tree fruit crops. **Scientia Horticulturae**, v.125, n.3, p.528-533, 2010. DOI: 10.1016/j.scienta.2010.04.033

SRIDHAR, K.R.; BHAGYA, B. Coastal sand dune vegetation: A potential source of food, fodder and pharmaceuticals. **Livestock Research for Rural Development**, v.19, n.6, p.84, 2007.

VATANPARAST, M. **Phylogeography of a pantropical plant with sea-drifted seeds; *Canavalia rosea* (Sw.) DC., (Fabaceae)**. 2010. 89 f. Tese de PhD. Graduate School of Science, Chiba University, 2010.

VITÓRIA, E.L.; FREITAS, I.L.J; LOCATELLI, T.; LACERDA, E.G.; VALLE, J.M.; PEREIRA, R.C.; ... FERNANDES, A.A. Mathematical Models for Leaf Area Estimates of Guava. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.12, p.272-278, 2018. DOI: 10.5539/jas.v10n12p272

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, n.2, p.184-194, 1981. DOI: 10.1080/02723646.1981.10642213