

LEONARDO DUARTE PIMENTEL

**NUTRIÇÃO MINERAL DA MACAÚBA: BASES PARA ADUBAÇÃO E
CULTIVO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO DE CATALOGAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO
FICHA CATALOGráfICA

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

P644n
2012

Pimentel, Leonardo Duarte, 1979-
Nutrição mineral da macaúba : bases para adubação e cultivo / Leonardo Duarte Pimentel. – Viçosa, MG, 2012.
ix, 115f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Claudio Horst Bruckner.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Acrocomia aculeata* – Nutrição. 2. Palmeira oleaginosa.
3. Plantas – Nutrição. 4. Adubos e fertilizantes. 5. Macaúba.
- I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

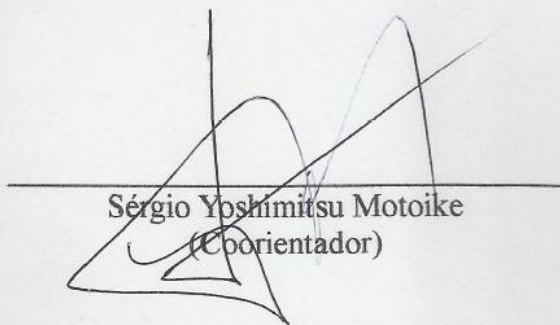
CDD 22. ed. 633.851

LEONARDO DUARTE PIMENTEL

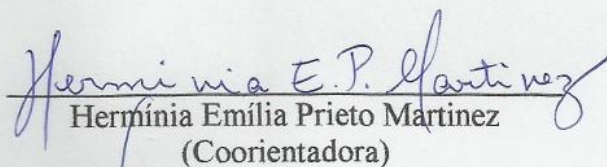
**NUTRIÇÃO MINERAL DA MACAÚBA:
BASES PARA ADUBAÇÃO E CULTIVO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

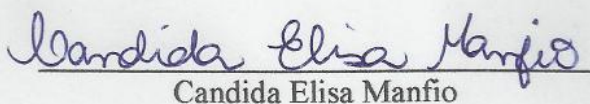
APROVADA: 29 de junho de 2012.



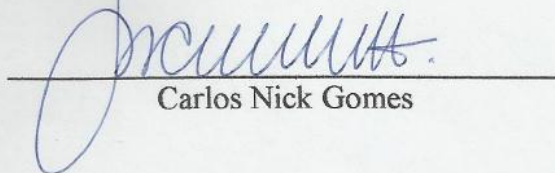
Sérgio Yoshimitsu Motoike
(Coorientador)



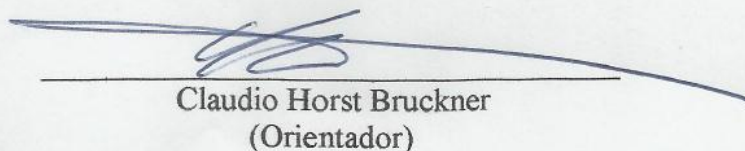
Hermínia Emília Prieto Martínez
(Coorientadora)



Candida Elisa Manfio



Carlos Nick Gomes



Claudio Horst Bruckner
(Orientador)

Dedico:

Ao Pai, toda honra e toda a glória, agora e para sempre, Amém!

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade de trabalhar e progredir sempre.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização da pós-graduação.

Ao CNPq pela concessão das bolsas de estudos que viabilizaram minha formação profissional desde a graduação (bolsa de iniciação científica) até o Doutorado.

À FINEP e a EMBRAPA pelo financiamento do projeto de pesquisa (Projeto PROPALMA).

Ao Professor Claudio Horst Bruckner, pela confiança, compreensão, amizade e exemplo profissional.

Aos Professores Sérgio Y. Motoike e Hermínia E. P. Martinez, pelo incentivo, apoio e colaboração.

Aos amigos Candida E. Manfio, Emília Wakin de Almeida, Francisco Assis, José Osmar da Costa e Silva, Aurora Y. Sato, Itamar (Araponga) e estagiários, pela valiosa ajuda na condução deste e de outros trabalhos no “grupo macaúba”.

Aos pesquisadores Carlos Nick e Anderson Barbosa Evaristo pelo apoio nas análises estatísticas.

Em especial, à minha família, base sólida e responsável direta pela minha formação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Nutrição mineral e adubação: princípios básicos.....	4
2.2 Palmáceas de maior importância no Brasil.....	7
2.3 Macaúba: dados gerais.....	8
2.3.1 Botânica.....	8
2.3.2 Clima e solo.....	9
2.3.3 Adubação.....	10
2.4 Exigência nutricional de palmáceas.....	12
3. REFERÊNCIAS.....	16
CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DA DEFICIÊNCIA DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM MACAÚBA.....	20
Resumo.....	21
Abstract.....	23
Introdução.....	25
Material e Métodos.....	27
Resultados e Discussão.....	31
Conclusão.....	48
Agradecimentos.....	49

Referências.....	49
CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DE SUBSTRATOS, CALAGEM, FOSFATAGEM E ADUBAÇÃO DE COBERTURA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MACAÚBA.....	52
Resumo.....	53
Abstract.....	55
Introdução.....	57
Material e Métodos.....	60
Resultados e Discussão.....	66
Conclusão.....	77
Agradecimentos.....	79
Referências.....	79
CAPÍTULO III – RESPOSTA DA MACAÚBA À ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA ATÉ O SEGUNDO ANO DE CULTIVO NO CAMPO.....	81
Resumo.....	82
Abstract.....	84
Introdução.....	86
Material e Métodos.....	88
Resultados e Discussão.....	93
Conclusão.....	103
Agradecimentos.....	104
Referências.....	104
CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
Considerações finais.....	107
ANEXOS.....	109

RESUMO

PIMENTEL, Leonardo Duarte, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2012. **Nutrição mineral da macaúba: bases para adubação e cultivo.** Orientador: Claudio Horst Bruckner. Coorientadores: Sérgio Yoshimitsu Motoike e Hermínia Emília Prieto Martinez.

A macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) é uma palmeira nativa do Brasil com potencial de produção de óleo vegetal comparado ao da palma africana (*Elaeis guineenses* Jacq.). A vantagem da macaúba em relação à palma é sua adaptação a condições edafoclimáticas diversas. Entretanto, até pouco tempo atrás, essa planta era explorada exclusivamente no sistema extrativista, sendo escassos os estudos fitotécnicos com a espécie. Por outro lado, para que a macaúba se estabeleça como matéria-prima na produção de biodiesel, é fundamental atender a dois requisitos básicos: escala de produção e preço competitivo. Para isso, é preciso desenvolver sistemas de cultivo, que por sua vez envolvem o conhecimento da necessidade nutricional da planta. Objetivou-se avaliar a resposta da macaúba à omissão de nutrientes minerais (caracterização da deficiência nutricional) e à diferentes níveis de fertilização em plantas cultivadas em viveiro e em condições de campo. Para isso, realizaram-se três experimentos inéditos com esta planta: Experimento 1 – Obtenção dos sintomas de deficiência nutricional e teores de nutrientes minerais a estes relacionados. Mudanças de macaúba com dois meses de idade foram aclimatadas em solução nutritiva estática aerada até a emissão da primeira folha pinada (definitiva), completando seis meses de idade quando foram aplicados

os tratamentos (omissão dos nutrientes minerais: N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, B, Cu e Zn). Após seis meses de cultivo sob influência dos tratamentos (mudas com 1 ano de idade) foram avaliadas as características químicas (teores dos nutrientes minerais nos tecidos da planta) e fitotécnicas (número de folhas, comprimento da parte aérea e da raiz, diâmetro do bulbo e massa de matéria seca do bulbo, raiz e folha). Como resultados, obteve-se a caracterização da deficiência mineral, os teores de nutrientes na matéria seca, o acúmulo de nutrientes e a sensibilidade da macaúba planta à omissão dos nutrientes minerais.

Experimento 2 – Avaliação de substratos, combinação de doses de calcário e fósforo e adubação de cobertura para produção de mudas de macaúba. Foram conduzidos três ensaios envolvendo: avaliação de substratos para produção de mudas de macaúba; avaliação do efeito de doses de calcário e de fósforo na produção de mudas e, avaliação da frequência de adubação de cobertura com N, K e Mg. Mudanças de macaúba com três meses de idade foram submetidas aos tratamentos acima descritos e avaliadas quanto às características químicas e fitotécnicas. Como resultados, obteve-se um referencial para composição de substratos, calagem, fosfatagem e adubação de cobertura para produção de mudas de macaúba.

Experimento 3 – Avaliação da resposta da macaúba à cinco níveis de fertilização com N e K, por dois anos, em cultivo à campo. Mudanças de macaúba com oito meses de idade foram plantadas no campo com adubação de estabelecimento idêntica para todos os tratamentos. No início da estação chuvosa subsequente, foram induzidos os tratamentos (doses de N e K crescentes). No segundo ano de cultivo foram avaliados altura de plantas, número de folhas, vigor e os teores foliares dos nutrientes minerais. Como resultados, obteve-se uma referência sobre a resposta da macaúba em relação à doses crescentes de N e K ao nível de campo, bem como os primeiros parâmetros de teores foliares em plantas cultivadas. De maneira geral, os resultados obtidos nos três experimentos permitem fazer uma recomendação de adubação para produção de mudas de macaúba, nortear as adubações de campo e comparar o estado nutricional de plantas de macaúba cultivadas.

ABSTRACT

PIMENTEL, Leonardo Duarte, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, June of 2012. **Mineral nutrition macaw palm: basis for fertilization and cultivation.** Adviser: Claudio Horst Bruckner. Co-Advisers: Sérgio Yoshimitsu Motoike and Hermínia Emília Prieto Martinez.

The macaw palm (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart.) is a palm native to Brazil with potential for vegetable oil production compared to African palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). The advantage of macaw palm regarding African palm is its adaptability to various soil and climatic conditions. However, until recently, this plant was operated exclusively in extractive system, with few phytotechnical studies about the species. Moreover, for the macaw palm to be established as a feedstock for biodiesel production, it is essential to meet two basic requirements: production scale and competitive price. For this it is necessary to develop culture systems, which in turn involves knowledge of the nutritional requirements of the plant. This study aimed to evaluate the response of macaw palm to the absence of mineral nutrients (characterization of nutritional deficiency) and different levels of fertilization in plants grown in the nursery and in field conditions. For this, there were three unpublished experiments with this plant: Experiment 1 - Getting the symptoms of nutrient deficiency and nutrient content related to these minerals. Two months old macaw palm seedlings were acclimated in static aerated nutrient solution until the issuance of the first pinnate leaf (definitive leaves), when the seedlings were six months old and the treatments were applied (omission of mineral nutrients: N, P, K,

Ca, Mg, S, Cl, Fe, B, Cu and Zn). After six months of cultivation under the influence of treatments (1 year old seedling) chemical characteristics (levels of mineral nutrients in plant tissue) and plant parameters (leaf number, shoot length and root diameter of the bulb and dry weight of the bulb, root and leaf) were evaluated. As a result, we obtained the characterization of mineral deficiency, the nutrient content in dry matter, nutrient accumulation and sensitivity of the macaw palm plant to the omission of nutrients. Experiment 2 - Evaluation of substrates combination of lime and phosphorus fertilization coverage for macaw palm seedling production. Three trials were conducted involving: evaluation of substrates for macaw palm seedling production; evaluation of the effect of lime and phosphorus in plant propagation and evaluation of the frequency of top-dressing with N, K and Mg. Three months old seedlings of macaw palm were treated as described above and evaluated for chemical and plant parameters. As a result, we obtained a reference to substrate composition, lime, phosphate and topdressing for macaw palm seedling production. Experiment 3 - Evaluation of macaw palm response to five levels of N and K fertilization for two years, growing in the field. Eight months old macaw palm seedlings were planted in the field with the same initial fertilization for all treatments. At the beginning of the rainy season subsequent treatments were induced (N and K increasing). In the second year of cultivation, plant height, leaf number, force and foliar concentrations of mineral nutrients were evaluated. As a result, we obtained a reference on the macaw palm response to increasing doses of N and K at the field level as well as the first parameters of foliar cultivated plants. In general, the results obtained from the three experiments allow making a fertilizer recommendation for macaw palm seedling production, guide the fertilized field and compare the nutritional status of grown macaw palm plants.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por fontes de energia renovável, pressionada pelo aumento dos preços dos combustíveis fósseis e pela redução da emissão de gases causadores do efeito estufa, abriu um gigantesco mercado para o setor agroenergético mundial. No curto e médio prazos, a biomassa é a alternativa mais promissora para substituir parcialmente a dependência mundial de combustíveis fósseis.

Considerando especificamente a cadeia produtiva do biodiesel no Brasil, observa-se que o País se destaca no cenário mundial como um dos maiores produtores e consumidores. Apesar deste avanço, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel-PNPB (BRASIL, 2010) consolidado pela Lei nº 11.097, que introduz o biodiesel na matriz energética brasileira (BRASIL, 2005), enfrenta gargalos com relação às matérias-primas oleaginosas. Atualmente, a legislação exige o uso do B5¹, refletindo numa demanda anual de aproximadamente 2,8 bilhões de litros de óleo vegetal. Porém, a capacidade das usinas instaladas no País já chega a 6,3 bilhões de litros/ano (ANP, 2012).

Cerca de 71% da matéria-prima utilizada na produção do biodiesel no Brasil é suprida pelo óleo de soja, 18% por sebo bovino e 11% por outras fontes (óleo de algodão, óleo reciclado, óleo de dendê, dentre outros) (ANP, 2012). Contudo, as diretrizes centrais do PNPB não estão sendo atendidas, pois a soja, principal matéria-prima, não promove a distribuição de renda, não inclui regiões marginais ao sistema

¹B 'X' = Nome dado à proporção da mistura de biodiesel no diesel de petróleo comercializado no varejo (posto de combustível). B5 refere-se a uma mistura de 5% de biodiesel e 95% de diesel de petróleo. B100 é o biodiesel puro produzido a partir de ácidos graxos vegetais ou animais, que por sua vez é comercializado pelas indústrias produtoras com as distribuidoras de petróleo.

produtivo e não possui o adensamento energético esperado. Além disso, a produção de soja não deverá atender a expansão da demanda interna de óleo vegetal, visto que seu produto principal é o farelo proteico, cujo crescimento da demanda anual é inferior ao observado no setor energético.

Nesse contexto, há necessidade de ampliar e diversificar as matérias-primas para a produção de biodiesel no País. Dentre as possibilidades, destaca-se a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.). Essa planta tem potencial para produzir 24 t de frutos/ha, o que equivale a aproximadamente 4,8 t óleo/ha (CETEC, 1983; TEIXEIRA, 2005; DREHER, 2009). A título de comparação, a soja produz 3 t de grãos, o que equivale a 0,5 t de óleo/ha.

A macaúba apresenta uma série de características positivas quando comparada às oleaginosas anuais, como alta produtividade de óleo, co-produtos de alto valor agregado (farelo protéico e endocarpo para energia), rusticidade, adaptabilidade ampla e viabilidade técnico-econômica de cultivo em pequenas propriedades. Por ser uma cultura perene, existe a possibilidade de cultivo em sistemas agrosilvopastoris e geração de créditos de carbono. Entretanto, sua principal vantagem está na produção de óleos e coprodutos (tortas) sem toxinas, o que viabiliza seu uso tanto na alimentação animal quanto humana, sem a necessidade de detoxificação. Como desvantagem, destaca-se o fato da cultura não estar totalmente domesticada.

Até o momento, a maior parte do conhecimento acumulado sobre esta planta provém de estudos realizados nos maciços naturais e se restringe basicamente à questão do óleo. Contudo, para que a macaúba consiga se estabelecer como matéria-prima na produção de biodiesel é necessário cultivos planejados e realização de pesquisas para obtenção de dados consolidados. Isso é fundamental para desenvolver um sistema de produção.

Várias instituições têm se dedicado ao estudo dessa planta. Porém, os dados obtidos em palmares cultivados ainda são parciais. A maioria dos experimentos instalados no campo iniciou-se após o desenvolvimento do processo de germinação em laboratório, pela Universidade Federal de Viçosa, em 2007 (MOTOIKE *et al* 2007). Logo, apesar de já existirem bancos de germoplasma instalados e em processo de avaliação (pré-melhoramento) estes ainda não atingiram a fase reprodutiva para iniciar

os cruzamentos controlados. Em relação à adubação, os estudos estão em andamento, mas os dados são parciais, pelo mesmo motivo.

É importante ressaltar que a cadeia produtiva da macaúba é questão estratégica para o Brasil e vem sendo alvo de pesquisas tanto de instituições públicas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Agroenergia, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, dentre outras) como privadas (Petrobrás SA, Votorantim Siderurgia SA, Entaban Ecoenergéticas SA, Acrotech Sementes e Reflorestamento Ltda., dentre outras). Em Minas Gerais, por exemplo, existe legislação específica para alavancar esta cadeia produtiva: Lei nº 19.485, que institui a política estadual de incentivo à pesquisa, ao cultivo, à industrialização e à comercialização da macaúba - PRÓ-MACAÚBA (MINAS GERAIS, 2011).

Diante destas iniciativas fica evidente a necessidade de se desenvolver sistemas de produção para a cultura da macaúba. Do ponto de vista nutricional, pode-se considerar que os solos brasileiros apresentam baixa fertilidade natural e elevada acidez. Por outro lado, existe correlação direta entre a fertilização do solo e a produtividade das palmáceas (CORLEY e TINKER, 2003; SOBRAL e LEAL, 2005), o que torna este conhecimento fundamental no desenvolvimento da cadeia agrícola da macaúba.

Para avaliar o estado nutricional das plantas e, conseqüentemente, manejar adequadamente a adubação, é preciso ter uma visão sistêmica e conhecimento sobre a cultura em questão (CERETTA *et al.*, 2007). Segundo Fontes (2001), é comum observar sintomas de deficiência mineral em plantas cujo fator limitante ou indutivo não é nutricional, mas ambiental e gerencial. Assim, pode-se considerar que o desenvolvimento de uma recomendação de adubação é um processo amplo, que engloba desde o conhecimento dos sintomas de deficiência nutricional até o estabelecimento da quantidade exata de adubo a ser aplicada no solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da macaúba à omissão de nutrientes minerais e à diferentes níveis de adubação (em condições de viveiro e no campo) para embasar as primeiras recomendações de adubação para a cultura. Para isso, foram realizados três experimentos inéditos com esta espécie com intuito de caracterizar os sintomas de deficiência nutricional, desenvolver sistema de fertilização de mudas e avaliar a resposta da planta à níveis crescentes de adubação no campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nutrição mineral e adubação: princípios básicos

Dezesseete elementos químicos são considerados essenciais para as plantas: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Ni. Entretanto, a simples presença de elementos químicos nas cinzas de uma planta não é indicador fiel de sua essencialidade quantitativa ou qualitativa, uma vez que as plantas apresentam seletividade limitada na absorção (MARSCHNER, 1995). Arnon e Stout (1939), a partir da técnica de cultivos hidropônicos, estabeleceram os critérios de essencialidade. Estes devem, simultaneamente, obedecer a três requisitos: o elemento é essencial se sua deficiência impede que a planta complete seu ciclo vital, o elemento não pode ser substituído (totalmente) por elementos com propriedades similares e, o elemento deve participar diretamente do metabolismo e/ou promover seu benefício.

Taiz e Zeiger (2004) classificam os elementos essenciais em duas categorias: elementos obtidos da água e do ar, através da fotossíntese (H, C e O) e elementos minerais, obtidos do solo ou através da adubação. Estes por sua vez podem ser divididos em macronutrientes (N, K, P, S, Ca, Mg) e micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo).

A subdivisão entre macro e micro nutrientes não se refere à importância do elemento e sim à quantidade exigida pelas plantas. No caso específico das palmáceas, alguns autores consideram o cloro como macronutriente (UEXKULL, 1972; OUVRIER, 1984; VIÉGAS e BOTELHO, 2000; CORLEY e TINKER, 2003).

De modo geral, os princípios que governam a nutrição mineral de plantas são bem conhecidos (ARNON e STOUT, 1939; MENGEL e KIRKBY, 1987;

MARSCHNER, 1995; TAIZ e ZEIGER, 2004). Entretanto, a determinação exata da quantidade de fertilizante a ser aplicada no solo ainda é um gargalo, pois envolve os processos fisiológicos da planta e as interações metabólicas entre vários nutrientes, as interações solo-planta-ambiente, as características do fertilizante, dentre outras (CORLEY e TINKER, 2003).

O princípio básico da adubação é elevar o nível de fertilidade do solo até uma condição ótima para o desenvolvimento da cultura em questão. A quantidade de cada nutriente recomendada é determinada em função da quantidade acumulada nos tecidos da planta, da quantidade exportada pela colheita e das características físico-químicas do solo e do fertilizante (CANTARUTTI *et al*, 2007).

Logo, o conhecimento sobre o crescimento, concentração e exportação de nutrientes nas diferentes partes da planta, desde os estágios iniciais até a fase de produção é exigência básica para se obter uma nutrição adequada, visando alta produtividade (VIÉGAS, 1993).

Por outro lado, a diagnose nutricional tem papel norteador nos programas de fertilização de plantas. Segundo Fontes (2001), a determinação do estado nutricional das plantas é imprescindível para manejar adequadamente a adubação. Para isso, existem vários métodos: o visual, a determinação direta da concentração dos elementos minerais nos tecidos do vegetal e as determinações indiretas, que estimam a concentração do nutriente e correlacionam com determinada característica da planta. Contudo, qualquer método utilizado deve ser apoiado em procedimentos complementares, como a descrição dos fatos prevalentes no sistema planta-ambiente-solo-ações do produtor.

Segundo Taiz e Zeiger (2004) os sintomas de deficiência nutricional em plantas são a expressão de distúrbios metabólicos resultantes do suprimento ineficiente ou desbalanceado de determinado elemento essencial.

Uma importante ferramenta utilizada no estudo do status nutricional de plantas é o cultivo hidropônico (MARTINEZ e CLEMENTE, 2011). Nestes sistemas, é possível excluir variáveis ambientais relacionadas ao solo e trabalhar com maior controle na interação dos elementos minerais. Assim, é possível estudar o *status* nutricional das plantas, a cinética de absorção dos nutrientes e suas interações, dentre outros (COMETTI *et al*, 2006).

Neste contexto, para determinar a dose de fertilizante a ser aplicada no solo utilizam-se três ferramentas principais: conhecimento agrônomo da planta, análise de solo e análise foliar. O conhecimento da cultura, juntamente com as análises de solo e foliares, permite ao engenheiro agrônomo identificar se o desenvolvimento da planta está adequado ou se há subdesenvolvimento, decorrente de carência nutricional. Assim, é possível identificar a deficiência antes que ela se torne aparente nas folhas, pois nesse estágio de severidade a produção estará comprometida (FONTES, 2001). A análise de solo permite avaliar suas características físico-químicas e correlacioná-las com uma produção ótima. Por outro lado, a análise foliar parte do princípio de que a planta é o ‘extrator’ mais fiel do nutriente em questão, e dá uma maior precisão quanto ao estado nutricional da planta.

Contudo, essas ferramentas apenas direcionam a necessidade de adubação, não sendo capazes de indicar a quantidade exata de nutriente a ser aplicada ao solo. Outro ponto de grande importância refere-se às características do fertilizante. De modo geral, as adubações no solo apresentam baixo aproveitamento: 70% para nitrogênio, cerca de 10 a 20% para o fósforo e 50% para potássio (MALAVOLTA, 1981). Em última instância, a determinação da quantidade de fertilizante deverá ser ajustada com experimentos de campo.

Para culturas anuais, é relativamente simples estabelecer um sistema de adubação, visto que o ciclo de vida da planta é curto, permitindo realizar experimentos com certa agilidade. Além disso, o nutriente imobilizado na cultura é facilmente medido, bem como o exportado pela colheita. Para as espécies arbóreas é mais complexa a determinação da quantidade de nutriente imobilizado em função do porte da planta e do ciclo longo. Neste caso, há certo ‘empirismo’ nas recomendações, as quais, num primeiro momento, procuram elevar o teor de nutrientes do solo até um nível ótimo de fertilidade, de modo que a planta possa se desenvolver de modo pleno. Posteriormente, para calibrar estas recomendações, são feitos experimentos de campo, onde se avalia a resposta da planta em função da dose de nutriente e do teor do elemento na folha.

2.2. Palmáceas de maior importância no Brasil

No Brasil, as principais palmáceas cultivadas são a palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) e o coqueiro (*Cocos nucifera* L.). Além destas, há outras de grande importância sócio-econômico-ambiental para algumas regiões, como a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), o açáí (*Euterpe oleracea* Mart), o babaçu (*Orbignya spp.*) e a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.). Entretanto, estas são exploradas basicamente no âmbito do extrativismo, evidenciando que há necessidade de promover a efetiva domesticação dessas espécies.

Clement *et al* (2009) caracterizam o grau de domesticação das plantas em quatro níveis, a saber: Incidentalmente Coevoluída, Incipientemente Domesticada, Semidomesticada e Domesticada. No caso da macaúba, pode-se considerá-la uma espécie incipientemente domesticada², pois sua ocorrência natural é muito comum em áreas antropizadas, como pastagens e quintais nas regiões onde se explora essa planta com fins diversos (alimentício, energético e artesanal).

Quanto às palmáceas cultivadas, a palma africana é a cultura com maior produtividade de óleo por ha cultivado (CORLEY e TINKER, 2003). Apesar do uso desta planta estar concentrado no consumo alimentício, hoje o foco do setor é a produção de óleo combustível. No Brasil, esta cultura se encontra em plena expansão em função dos projetos de biocombustíveis em desenvolvimento no norte do País (Projeto Vale/Biopalma, Galp/Petrobrás, entre outros).

O coqueiro apresenta uma cadeia produtiva consolidada e estável. O Brasil é um dos principais produtores mundiais, sendo o foco principal deste segmento o mercado alimentício: água de coco, copra, óleo, polpa desidratada etc (SOBRAL, 1998). Contudo, o crescimento desta cultura está restrito à demanda do setor alimentício, que apresenta um crescimento anual pequeno quando comparado ao setor energético.

No caso das palmeiras nativas, a macaúba apresenta grande potencial de desenvolvimento, visto que esta poderá atender parte da demanda de óleo vegetal para produção de biodiesel (CETEC, 1983; TEIXEIRA, 2005). Apesar de sua cadeia produtiva estar em desenvolvimento a macaúba tem características produtivas similares à da palma (produtividade de óleo, tipos de óleos e coprodutos), com a vantagem de

² População de plantas modificada por intervenção humana e por seleção, cujo fenótipo médio ainda está dentro da variação encontrada na população silvestre.

estar adaptada a grande parte do território nacional, enquanto que o cultivo da palma está restrito à região equatorial (VIÉGAS e BOTELHO, 2000; CORLEY e TINKER, 2003).

2.3. Macaúba: dados gerais

2.3.1 Botânica

A família Palmae (Arecaceae) é amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais. É composta de 200 gêneros e 2.780 espécies (JUDD *et al*, 2009). O gênero *Acrocomia* é encontrado em toda a América tropical e subtropical, que vai da Califórnia (EUA) à Argentina e é composto por duas espécies principais: *Acrocomia aculeata* e *Acrocomia hassleri*, as quais diferem entre si pelo tamanho da planta (LORENZI, 2006; MOBOT, 2011). *A. aculeata* apresenta porte arbóreo e possui distribuição geográfica ampla, ao passo que a *A. hassleri* apresenta porte arbustivo e é endêmica do cerrado (Figura 1).

No entanto, para Lorenzi *et al* (2010) sete espécies compõem o gênero *Acrocomia*, seis delas ocorrendo no Brasil: *A. aculeata*, *A. intumescens* Drude e *A. totai* Mart., todas de porte arbóreo, diferenciadas principalmente pelas características do estipe e, *A. hassleri*, *A. glaucescens* Lorenzi, *A. emensis* Toledo de baixo porte, diferenciadas entre si principalmente pela altura da planta, dentre outras características morfológicas. Destas, duas são mais exploradas comercialmente, *A. totai* e *A. aculeata*.

Logo, percebe-se que existe grande dificuldade quando se pretende estudar a espécie, inclusive porque existe grande variabilidade genética dentro do que se convencionou chamar de *Acrocomia aculeata*. Entretanto, há consenso entre pesquisadores de que *A. aculeata* poderia ser subdividida em três subespécies principais, segundo a nomenclatura antiga, a saber: *A. aculeata* subesp. *sclerocarpa*, *A. aculeata* subesp. *totai* e *A. aculeata* subesp. *intumescens* (PIMENTEL *et al*, 2011). Ainda segundo estes autores, a subesp. *sclerocarpa* apresenta maior potencial oleífero que as demais.



1.1- *Acrocomia hassleri*
Foto: www.pacsoa.org.au



1.2- *A. hassleri*- Inflorescência
Foto: www.pacsoa.org.au



1.3- *Acrocomia aculeata*



1.4- *A. aculeata*- Inflorescência

Figura 1: Principais espécies do gênero *Acrocomia*.

2.3.2 Clima e solo

A macaúba possui adaptabilidade a condições edafoclimáticas diversas. No Brasil, encontram-se maciços naturais de macaúba desde o estado do Pará (clima equatorial) até estado do Paraná (clima Subtropical). Considerando o estado de Minas Gerais, que é um dos mais representativos na ocorrência natural desta espécie, observa-

se que a macaúba tem ampla distribuição nas faixas de transição dos ambientes de floresta subcaducifólia para as áreas de cerrado (MOTTA *et al*, 2002).

Esses dados foram confirmados com levantamentos de campo realizados por Manfio *et al* (2010). Esses autores observaram que os maciços naturais de macaúba ocorrem em diferentes condições climáticas (Tabela 1). Além disso, observaram-se, de maneira empírica, que a macaúba apresenta características de espécies pioneiras e secundárias, as quais avançam sobre as áreas abertas até perderem espaço para as espécies clímax, na mata fechada.

Tabela 1: Dados climáticos de algumas regiões do estado de Minas Gerais com ocorrência natural de macaúba.

Microregião ¹	A.M. ² (m)	T.M. ³ (°C)	T.M.Ma. ⁴ (°C)	T.M.Mi. ⁵ (°C)	PPT ⁶ (mm)	E.S ⁷ (meses)	Ins. ⁸ (h/ano)	UR ⁹ (%)
Belo Horizonte	850	21,1	27,1	16,7	1491	abr/set	2134	72
Lavras	918	19,4	26,1	14,8	1530	abr/set	1677	76
Montes Claros	646	22,4	29,3	16,7	1082	abr/set	2643	67
Patos de Minas	940	21,1	27,8	16,3	1474	abr/set	2461	69

¹Fonte: Embrapa-SPI (1992); ²Altitude Máxima; ³ Temperatura Média; ⁴ Temperatura Média Máxima; ⁵Temperatura Média Mínima; ⁶ Precipitação; ⁷ Estação Seca (<50mm/mês); ⁸ Insolação; ⁹ Umidade Relativa.

De acordo com a Tabela 1, observa-se que a partir de 1.080 mm/anuais, distribuídos em pelo menos 6 meses do ano, seria possível o cultivo da macaúba em sequeiro. Contudo, na região de Montes Claros, faixa de transição do clima tropical para o semi-árido, a ocorrência natural da macaúba está associada a áreas de baixadas, principalmente nos vales dos rios (BHERING *et al.*, 2010). Logo, nessas condições, é possível que haja uma contribuição hídrica através do lençol freático. Por outro lado, em localidades com precipitação média anual em torno de 1400 mm/ano (Lavras, Patos de Minas, Belo Horizonte), é possível encontrar macaúbas nativas em vários ambientes, inclusive topos de morros.

2.3.3 Adubação

Os trabalhos de pesquisa com a palmeira macaúba são recentes. Logo, não existe uma recomendação de adubação consolidada para a cultura. Motta *et al* (2002), estudando a ocorrência natural de macaúba em Minas Gerais em função dos atributos químicos do solo, observaram que a presença de macaúba está associada a ambientes

onde a vegetação natural caracteriza-se por florestas subcaducifólias e solos eutróficos, concentrando-se nas áreas de baixada e meia encosta, evitando extremos de déficit hídrico e também de fertilidade natural. Esses dados corroboram o conhecimento empírico de que a macaúba é indicadora de solos férteis, sinalizando que esta planta pode ser exigente quanto às características físico-químicas do solo e também quanto à disponibilidade de água no solo.

Em cultivos experimentais e comerciais de macaúba na Zona da Mata Mineira, tem-se observado que a macaúba apresenta crescimento inicial lento. Além disso, na fase inicial do cultivo, a resposta da planta ao manejo (tamanho da cova, idade da muda e controle de plantas daninhas) é mais expressiva do que para a adubação. Nessa região, tem-se observado melhor adaptação da macaúba a solos de textura média a argilosa. Nos solos arenosos, em áreas de morro, é comum encontrar sintomas generalizados de deficiência de micronutrientes (Figura 2).



a) Macaúba com desenvolvimento pleno (1º ano).



b) Macaúba com subdesenvolvimento por deficiência de micronutrientes (1º ano).

Figura 2: Comparação entre plantas de macaúba na mesma área de plantio, mesma idade e com diferentes adubações (a, b).

Fotos: Plantios comerciais na Entaban Ecoenergéticas do Brasil Ltda.

2.4 Exigência nutricional de palmáceas

As palmáceas representam um grupo distinto de plantas com características semelhantes. Salvo raras exceções, pode-se dizer que são plantas essencialmente tropicais (McCURRACH, 1960). Sua ocorrência natural está associada à elevada precipitação anual, ambientes com temperatura média anual alta e elevada insolação. Em relação aos solos, observa-se que são tolerantes à acidez, mas altas produtividades são alcançadas com correção para elevar os teores de cálcio e magnésio e fertilizações pesadas (ARES *et al*, 2003; CORLEY e TINKER, 2003). De modo geral, desenvolvem-se melhor em solos de textura média a argilosa, com exceção do coqueiro³.

Do ponto de vista ecofisiológico, observa-se que a macaúba é mais flexível quanto às exigências climáticas do que a palma e o coqueiro. Em latitudes próximas, encontram-se macaúbas nativas desde o nível do mar (Macaé-RJ) até 1.000 metros de altitude (Barbacena, MG), evidenciando a ampla capacidade de adaptação dessa planta. Nessa altitude, seria inviável cultivar palma e coqueiro. Quando se considera a necessidade hídrica, observa-se comportamento similar. Existem maciços nativos de macaúba em regiões com precipitação anual de 1.080 mm (Montes Claros, MG) até 2.200 mm (Tailândia, PA). Tanto o coqueiro quanto a palma exigem altos índices pluviométricos e temperatura média anual alta. No Brasil, essas condições só são encontradas na região Norte (Amazônia) e nas faixas litorâneas, onde o oceano atua como estabilizador climático.

Em relação às palmeiras cultivadas (palma e coqueiro), pode-se considerar que apresentam muitos pontos em comum, como: a produtividade bruta por ha em torno de 20 t de frutos, o espaçamento utilizado, a sensibilidade a pragas e doenças e também a necessidade de fertilização. Nesse ponto, observa-se que a palma e coqueiro apresentam elevada demanda por fertilizantes e similaridade na ordem decrescente de acúmulo de nutrientes minerais (SOBRAL, 1998; VIÉGAS e BOTELHO, 2000; CORLEY e TINKER, 2003). Em palma, a demanda por nutrientes aumenta em função da idade,

³No Brasil, o coqueiro é cultivado principalmente nos ecossistemas de baixada litorânea e tabuleiros costeiros. Estes cultivos estão situados principalmente em solos de areias quartzosas. Contudo, nestas regiões, o lençol freático permanece alto ao longo do ano viabilizando cultivos de coqueiro (SOBRAL, 1998).

sendo que os elementos minerais acumulados em maior quantidade são o potássio e nitrogênio, nessa ordem (Figura 3).

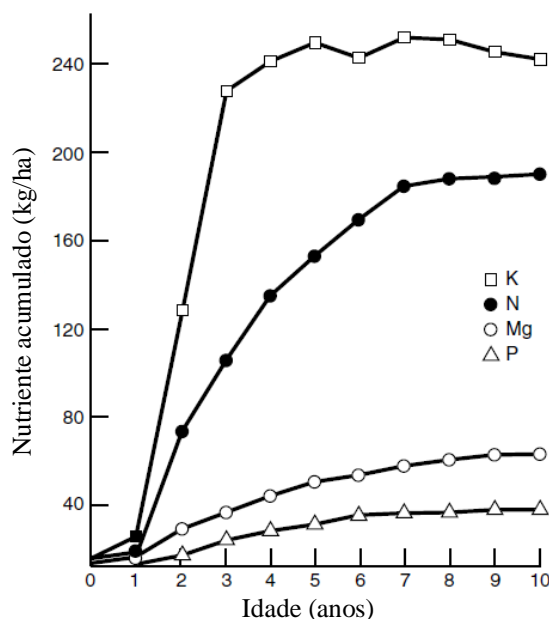


Figura 3: Acúmulo de nutrientes minerais em palma africana (*Elaeis guineenses*).

Fonte: Adaptado de CORLEY e TINKER (2003).

Por outro lado, as palmáceas apresentam lentidão na resposta à adubação. Em cultivos comerciais de palma e coqueiro, observa-se que uma adubação subestimada, ou um déficit hídrico acentuado, apresentam reflexo na produção do 2º ano após a ocorrência do estresse. Assim, percebe-se que tais plantas possuem uma resposta lenta, porém, são altamente sensíveis quanto à exigência nutricional (SOBRAL, 1998; CORLEY e TINKER, 2003). Isto ocorre porque o período que envolve a diferenciação floral no ponto de crescimento (palmito), até a abertura da espátula (antese), pode levar até 36 meses (UEXKULL e FAIRHURST, 1991).

No caso das palmáceas nativas, como a macaúba, pouco se sabe sobre a exigência nutricional. Motta *et al* (2002) observaram que a ocorrência natural dessa planta está associada a solos eutróficos com fertilidade média a alta para alguns nutrientes (Tabela 2). Quanto aos cultivos, a primeira experiência em nível comercial está sendo desenvolvida pela Entaban Ecoenergéticas do Brasil Ltda, em sistema silvopastoril na Zona da Mata Mineira. Nesse caso, adota-se o cultivo mínimo, similar ao de plantio de eucaliptos nas regiões montanhosas. Nestas regiões, tem-se observado

melhor adaptação da macaúba a solos de textura média a argilosa, confirmando os estudos de Motta *et al* (2002).

Tabela 2: Atributos diagnóstico dos solos com ocorrência natural de macaúba em MG

Característica	Valor mínimo	Valor máximo	Média
pH (água)	4,6	6,0	5,5
P (mg/dm ³)	1	36	10
K (mg/dm ³)	27	136	97
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	1,8	11,3	6,1
V(%)	17	87	59
m(%)	0	38	5
Argila (%)	6	51	26

Fonte: Adaptado de Motta *et al* (2002).

Contudo, pouco se sabe sobre a exigência nutricional da macaúba. A produção de mudas em escala comercial e os primeiros plantios comerciais têm possibilitado algum embasamento empírico sobre a adubação desta planta. Por outro lado, há conhecimento sobre a exigência nutricional de outras palmáceas, como a palma africana que poderão nortear as pesquisas com a macaúba.

Viégas (1993) estudou a exigência nutricional da palma na Amazônia por oito anos, o que permitiu desenvolver uma recomendação de fertilização para esta cultura nas condições edafoclimáticas brasileiras. Esse é o um dos trabalhos mais completo sobre fertilização de palmáceas no Brasil. As principais conclusões obtidas no trabalho de Viégas (1993) foram:

- A produção de matéria seca foi lenta até o 3º e 4º anos, tornando-se mais intensa a partir do 5º ano até o final do período de observação (8º ano). Porém, esse período de tempo não foi suficiente para que a planta atingisse a produção máxima de matéria seca;
- A contribuição dos diferentes componentes na produção de matéria seca da planta, em ordem decrescente foi: estipe > pecíolos > folíolos > ráquis > frutos > espiguetas > inflorescências masculinas > pedúnculo > flechas > palmito.
- A concentração de nutrientes nos diferentes componentes da planta aumentou com a idade, com exceção do potássio;
- A ordem decrescente de acúmulo de macronutrientes foi: K > N > Ca > Mg > P > S;

- A ordem decrescente de acúmulo de micronutrientes foi: Cl > Fe > Mn > Zn > B > Cu;
- As quantidades imobilizadas de K, S, Cl, Cu, B, Fe e Zn superam as recicladas e removidas. Para o Ca e Mg a quantidade reciclada foi maior que a imobilizada. Para todos os nutrientes a quantidade reciclada foi maior que a exportada;
- A exportação de nutrientes aumentou com a idade e apresentou a mesma sequência da quantidade acumulada.

3. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Boletim mensal de biodiesel, março 2012**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>>. Acesso em 01 julho 2012.

ARES, A.; FALCÃO, N.; YUYAMA, K.; YOST, R. S.; CLEMENT, C. R. Response to fertilization and nutrient deficiency diagnostics in peach palm in Central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.66, p.221-232. 2003.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quality for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, v.14, p.371-375, 1939.

BHERING, L. L.; VILELA, M. de F.; AQUINO, F. de G.; *et al.* Mapeamento de maciços naturais de ocorrência de macaúba (*Acrocomia aculeata*) visando à exploração sustentável. I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, PB, 2010. *Anais*, p. 143-148.

BRASIL: **Lei 11.097, de 13 janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso em 11 de out de 2010.

BRASIL: **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)**. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/>>. Acesso em 11 de out de 2010.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; MARTINEZ, H. E. P. *et al.* Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.769-850.

Centro Tecnológico de Minas Gerais / Ministério Indústria e Comércio (CETEC-MG). **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais (V1): Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Relatório Final Convênio STI-MIC-CETEC, 1983. 152p.

CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; PAVINATO, A. Manejo da adubação. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.851-872.

CLEMENT, C. R.; BORÉM, A.; LOPES, M. T. G. Da domesticação ao melhoramento de plantas. In: BORÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (Eds). **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas** (486p). Viçosa, 2009. p.11-38.

COMETTI, N. N.; FURLANI, P. R.; RUIZ, H. A.; FERNDDES FILHO, E. I. Soluções Nutritivas: Formulação e Aplicações. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 89-114.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm** (4nd ed). Oxford/EUA: Blackwell Science, 2003. 562p.

DREHER, F. Promising South American Oil Palm *Acrocomia totai* Mart.: Current Status and Future Prospects. **Thesis** (Doctor Science in Agricultural Economics) – Hochschule fur Wirtschaft und Umwelt, Fakultat 2, Nürtinger-Geislinger, Germany, 62 p, 2009.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – SPI) / Ministério da Agricultura e Reforma Agrária / Sec. Nacional de Irrigação -Dep. Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas 1961-1990**. SPI Emprapa, 1992.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122p.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; *et al.* **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético** (3^a Ed.). Porto Alegre: Artimed, 2009. 632p.

LORENZI, G. M. A. C. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável. **Tese** (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 156p, 2006.

LORENZI, H. **Flora Brasileira** (Arecaceae). Nova Odessa: Instituto. Plantarum, 2010. 368p.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação** (4^a Ed). São Paulo: Ceres, 1981. 256p.

MANFIO; C. E.; MOTOIKE, S. Y.; PIMENTEL, L. D.; *et al.* Coleta de germoplasma de macaúba no estado de Minas Gerais. 7^o Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Belo Horizonte, 2010. *Anais*, p.1849-1850.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants** (2nd ed.) London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENT, J. M. **O Uso do Cultivo Hidropônico de Plantas em Pesquisa**. Viçosa: Editora UFV, 2011. 76p.

McCURRACH, J. C. **Palms of the world** (5st Ed.). New York: Library of Congress. 1960. 290p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plants nutrition** (4nd ed). Bern: Potash International Institute, 1987. 687p.

MINAS GERAIS: **Lei estadual nº 19.485, de 14 janeiro de 2011**. Institui a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas - PRÓ-MACAÚBA. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br>>. Acesso em 13 de mai 2011.

MISSORI BOTANICAL GARDEN (MOBOT): ***Acrocomia aculeata***. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/treat/acoelorrhaphe.shtml>>. Acesso em 29 ago 2011.

MOTOIKE, S. Y.; LOPES, F. A.; SÁ JUNIOR, A. Q. de; *et al.* Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*. **Patente: PI0703180-7**. 2007.

MOTTA, P. E.; CURI, N.; OLIVEIRA FILHO, A. T., *et al.* Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesq. Agrop. Brasileira**, v.37, n.1023-1031, 2002.

OUVRIER, M. Exportation par la récolte du cocotier PB-121 en fonction de la potassique et magnésienne. **Oléagineux**, v.39, n.5, p.263-271, 1984.

PIMENTEL, L. D.; DIAS, L. A. dos S.; PAES, J. M. V.; *et al.* Diversidade no gênero *Acrocomia* e proposta de subdivisão da espécie *Acrocomia aculeata*. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 81-87, 2011.

SOBRAL, L. F. Nutrição mineral do coqueiro. In: FERREIRA, J. M, S.; WARNICK, D. R. N.; *et al.* **A cultura do coqueiro no Brasil** (2^a ed.). Brasília: Embrapa-SPI. 292 p. 129-157. 1998.

SOBRAL, L. F.; LEAL, M. L. S. Resposta do coqueiro à adubação com uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio em dois solos do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 85-89, 2005.

TAIZ, L.; ZAIGER, E. **Fisiologia vegetal** (3^a ed.) Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEIXEIRA, L. C. Produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p.79-86, 2005.

UEXKULL, H. R. von. Response of coconut to (potassium) chloride in the Philippines. **Oléagineux**, v.27, n.1, p.13-19, 1972.

UEXKULL, H. R. von.; FAIRHURST; T. H. **Fertilizing for High Yield and Quality the Oil Palm.** International Potash Institute: Bern, bulletin n.12, 1991, 79p.

VIÉGAS, I. de J. M. Crescimento do dendezeiro (*Elaeis guineensis*), concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes de plantas com 2 a 8 anos de idade, cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico Tailândia, Pará. **Tese (Agricultura)** – Esalq, Piracicaba, SP, 217p. 1993.

VIÉGAS, I. de J. M.; BOTELHO, S. M. Nutrição mineral do dendezeiro. In: VIÉGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A. (Ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 229-273.

**CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DA DEFICIÊNCIA DE MACRO E
MICRONUTRIENTES EM MACAÚBA**

CARACTERIZAÇÃO DA DEFICIÊNCIA DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM MACAÚBA

RESUMO

A palmeira macaúba tem despertado interesse do setor agroenergético em função de sua alta capacidade de produção de óleo vegetal. Entretanto, pesquisas com nutrição mineral para esta espécie são escassas. Objetivou-se caracterizar os sintomas de deficiência nutricional em mudas de macaúba, cultivadas em sistema hidropônico, sob omissão de macronutrientes e micronutrientes minerais. O Experimento foi montado em blocos casualizados, contendo 12 tratamentos. Os tratamentos foram: solução completa (testemunha) e omissão de N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, B, Cu, e Zn. As sementes pré-germinadas foram cultivadas em tubetes até o 2º mês. Posteriormente as plântulas foram aclimatadas por 4 meses em solução nutritiva completa com concentração crescente (25%, 50% e 100% da força iônica). A partir do 6º mês foram aplicados os tratamentos em vasos individuais. Mensalmente, foram feitas avaliações visuais dos sintomas de deficiência. Após 6 meses sob influência dos tratamentos, foram avaliadas as características fitotécnicas (número folhas pinadas, número folhas lanceoladas, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, maior diâmetro bulbo, menor diâmetro bulbo, massa de matéria seca da parte aérea, massa de matéria seca da raiz e massa de matéria seca do bulbo) e os teores dos nutrientes minerais nos tecidos das raízes, bulbos e folhas. Observou-se sintoma generalizado de deficiência de Fe e Cu logo no 1º mês. Após o 2º mês observou-se subdesenvolvimento das plantas nos tratamentos com omissão de P, Ca e Cu. Para os demais nutrientes, a deficiência se manifestou mais lentamente, ficando característica nas folhas após o 5º mês. Nas análises quantitativas, a maioria das variáveis apresentou diferença significativa. Os teores foliares médios de macronutrientes na testemunha, em dag/kg, foram: N=2,68;

P=0,27, K=2,02; Ca=1,32; Mg=0,30; S=0,33 e Cl=2,50. Para os micronutrientes, em mg/kg, os teores foliares médios foram: Fe=66,00; B=47,80; Cu=2,50; Zn=19,50 e Mn=215,50. O acúmulo de nutrientes na matéria seca das mudas (testemunha), em ordem decrescente foi: N > Cl > K > Ca > S > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu > B. Os resultados permitiram caracterizar os sintomas de deficiência nutricional na espécie e obter uma referência para os teores de nutrientes minerais na matéria seca das mudas. A macaúba manifestou lentamente os sintomas de deficiência nutricional, com exceção do Fe. Além disso, a planta acumula Cl em níveis elevados.

Palavras-chave: *Acrocomia Aculeata*, nutrição mineral, mudas, sintomas deficiência, teor foliar.

CHARACTERIZATION OF DEFICIENCY IN THE MACRO AND MICRONUTRIENTS IN MACAW PALM

ABSTRACT

The macaw palm has aroused the interest of agro-energy sector due to its high oil yield. However researches on mineral nutrition for this species are scarce. This study aimed to characterize the symptoms of nutritional deficiency in macaw palm seedlings grown hydroponically under omission of mineral macro and micronutrients. The experiment was arranged in a randomized block design with 12 treatments. The treatments were: complete solution (control) and omission of N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, B, Cu and Zn. The pre-germinated seeds were grown in plastic tubes until the 2nd month. Subsequently the seedlings were acclimatized for 4 months in a complete nutrient solution with increasing concentration (25%, 50% and 100% in ionic strength). From the 6th month treatments were applied in individual pots. Visual assessments of deficiency symptoms were made each month. After 6 months under the influence of the treatments, phytotechnical characteristics (number pinnate leaves, lanceolate leaf number, shoot length, root length, larger diameter bulb, smaller diameter bulb, dry weight of shoot, mass of matter and root dry mass of dry bulb) and the contents of mineral nutrients in the tissues of roots, bulbs and leaves were evaluated. We observed widespread symptom of Fe and Cu deficiency at the 1st month. After the 2nd month there was underdevelopment of plants under omission of P, Ca and Cu. For other nutrients, disability manifested itself more slowly, clearly in the leaves after the 5th month. In quantitative analysis, most variables showed a significant difference. The average macronutrients in leaves, in dag / kg were: N = 2.68; P = 0.27; K = 2.02; Ca = 1.32; Mg = 0.30; S = 0.33 and Cl = 2.50. For micronutrients in leaves mg / kg the medium were: Fe = 66.00; B = 47.80; Cu = 2.50; Zn = 19.50 and Mn = 215.50. The accumulation of

nutrients in the dry tissue (control), in decreasing order was: N> Cl> K> Ca> S> Mg> P> Fe> Mn> Zn> Cu> B. The results characterize the symptoms of nutritional deficiency in macaw palm and get a reference to the content of nutrients in the dry tissue. The macaw palm slowly manifested symptoms of nutritional deficiency, except Fe. Furthermore the plant accumulates Cl at high levels.

Keywords: *Acrocomia Aculeata*, mineral nutrition, seedlings, deficiency symptoms, leaf content.

INTRODUÇÃO

A macaubeira é uma palmeira de ocorrência natural em toda a zona tropical da América Latina, cujo produto principal é o fruto com elevado teor de óleo (LORENZI, 2006). Com a crescente demanda de óleo vegetal para transformação em biodiesel, esta espécie vem despertando interesse dos órgãos de pesquisa e do setor privado, tanto nacionais quanto internacionais (DREHER, 2009; PIMENTEL *et al.*, 2011).

Entretanto, para que a macaúba se estabeleça como matéria-prima na produção de biodiesel, é fundamental promover a sua domesticação, passando pelo melhoramento genético e pelo desenvolvimento de sistemas de cultivo. As recomendações de adubação para cultura ainda estão em processo de desenvolvimento e pouco se sabe sobre os sintomas de deficiência nutricional na cultura. Logo, é imprescindível caracterizar os sintomas de deficiência para a espécie e determinar padrões ou faixas de teores dos nutrientes minerais nos tecidos foliares associados aos sintomas visuais. Assim, será possível auxiliar no manejo da adubação da cultura bem como identificar os sintomas de subnutrição.

A nutrição mineral de plantas está direta e indiretamente relacionada ao metabolismo do carbono (fotossíntese e respiração) e, conseqüentemente, ao seu crescimento e desenvolvimento (LARCHER, 2006). Os elementos minerais funcionam como constituintes das estruturas orgânicas ou associados ao metabolismo da planta, como ativadores enzimáticos, carreadores e osmorreguladores (MARSCHNER, 1995).

Segundo Marschner (1995), dezessete elementos químicos são essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, B, Cu, Zn, Mn, Mo e Ni. Taiz e Zeiger (2004) classificam os elementos essenciais em dois grupos: H, C e O (obtidos da água e do ar através da fotossíntese) e os elementos

minerais, obtidos do solo ou através da fertilização. Neste caso, os elementos são subdivididos em macronutrientes (N, K, P, S, Ca e Mg) e micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni e Mo). Cada um destes elementos tem função específica no metabolismo da planta. Porém, nos sistemas agrícolas, considerando apenas a nutrição mineral, a produção via de regra é limitada pelo elemento faltante, segundo a lei do mínimo estabelecida por Justos von Liebeg (1803-1873).

Nas zonas tropicais, onde há condições climáticas favoráveis ao cultivo de palmáceas, normalmente encontram-se solos com elevado grau de intemperização. Isto tende a resultar em solos com boas condições físicas (profundidade, textura, granulometria), porém pobres quimicamente (baixa fertilidade natural, baixos níveis de P, Ca, Mg e elevada acidez) (NOVAIS et al, 2007).

Nessas condições, a diagnose do estado nutricional das plantas é fundamental para o correto manejo da adubação. Fontes (2001) descreve vários métodos para avaliar o estado nutricional de um vegetal. Os mais utilizados são as análises visuais e químicas (quantificar os teores foliares), ou associação desses dois métodos, o que seria mais recomendado.

A diagnose visual dos sintomas de deficiência causados pela insuficiência de determinado macronutriente pode ser percebida facilmente, uma vez que pela alta demanda fisiológica (para K) ou estrutural (N, P, Ca, Mg, S) a planta tende a manifestar o estresse em sua aparência.

Por outro lado, os micronutrientes são requeridos em pequenas quantidades e atuam principalmente como constituintes de enzimas e seus ativadores. Assim, apenas o exame visual tende a ser insuficiente na identificação da deficiência nutricional. Além disso, diferentes elementos podem provocar sintomas similares. Neste caso o conhecimento dos teores dos nutrientes minerais nos tecidos foliares é imprescindível para diagnose nutricional (DECHEN e NACHTIGALL, 2006).

Para avaliar a deficiência de todos os elementos minerais em plantas é preciso ter controle absoluto do sistema a fim de evitar contaminantes, o que só é possível através do cultivo hidropônico (MARTINEZ e CLEMENTE, 2011). Nesse caso, é possível omitir determinado elemento mineral e avaliar seu efeito na planta, o que seria inviável em cultivo no solo.

Objetivou-se neste trabalho caracterizar os sintomas de deficiência nutricional em mudas de macaúba, cultivadas em sistema hidropônico sob omissão de macronutrientes e micronutrientes, utilizando a técnica do elemento faltante.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no período de 01/07/2008 a 11/06/2009. O experimento foi montado em blocos casualizados, contendo 12 tratamentos, 6 repetições. Cada unidade experimental foi composta de uma planta em vaso individual. Os tratamentos foram: T1= solução nutritiva completa; T2= omissão de N; T3= omissão de P; T4= omissão de K; T5= omissão de Ca; T6= omissão de Mg; T7= omissão de S; T8= omissão de Cl; T9= omissão de Fe; T10= omissão de B; T11= omissão de Cu, T12= omissão de Zn.

As sementes que originaram as mudas foram coletadas em duas populações de macaúba, especificamente para este fim, e foram submetidas ao processo de quebra de dormência desenvolvido por MOTOIKE *et al* (2007) em laboratório.

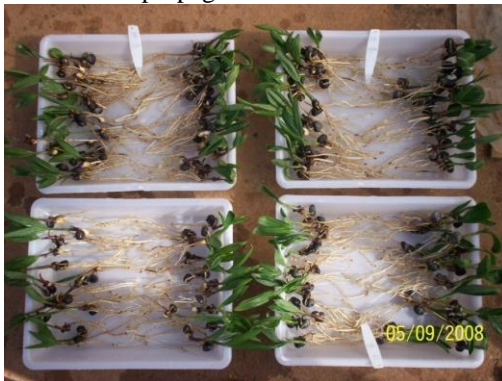
As sementes pré-germinadas foram transplantadas para tubetes com 180 cm³ de volume, contendo substrato comercial Plantmax[®], onde permaneceram por 2 meses (Figura 1). Posteriormente, as plântulas foram aclimatadas à solução nutritiva estática aerada, completa, com concentração crescente (25% da força iônica por 15 dias, 50% por um mês e por fim 100% da força iônica por mais 2,5 meses). No sexto mês, as mudas com desenvolvimento satisfatório foram selecionadas e padronizadas, tendo como critério básico o número de 4 a 5 folhas bipartidas (este estágio antecede a primeira folha definitiva, em geral a sexta folha).



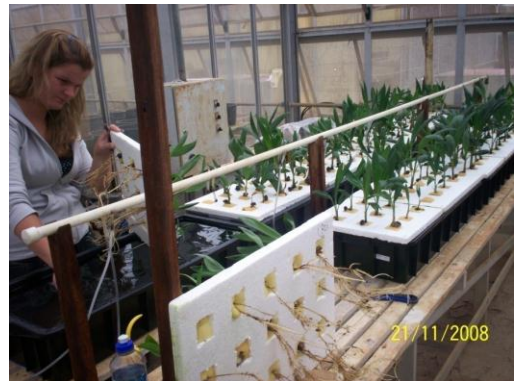
1.1 Material propagativo



1.2 Semeadura em tubetes



1.3 Preparo para aclimação em solução nutritiva



1.4 Condução/aclimação em solução nutritiva



1.5 Muda transplantada para vasos individuais



1.6 Indução dos tratamentos (1ª folha definitiva)



1.7 Indução dos tratamentos (início das avaliações)



1.8 Avaliação final

Figura 1: Etapas da condução do experimento com mudas de macaúba sob omissão de nutrientes minerais.

Para fornecimento dos macronutrientes, utilizou-se como solução base as concentrações utilizadas por DUFOUR *et al* (1978), em palma africana (*Elaeis guineensis*) e coqueiro (*Cocus nucifera*). Para fornecimento dos micronutrientes, utilizou-se como base a solução de Hoagland. A condução do experimento foi realizada de acordo com recomendação técnica de Martinez e Clemente (2011). A concentração de íons na solução completa pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1: Concentração dos elementos minerais na solução nutritiva completa.

Macronutrientes (incluindo Na e Cl para ajuste osmótico)	Concentração (mmol/L)	Micronutrientes	Concentração (μ mol/L)
N (NO_3^-)	13,00	$\text{Na}_2\text{EDTA} + \text{FeCl}_3, 6 \text{H}_2\text{O}$	40
N (NH_4^+)	2,12	$\text{MnSO}_4, \text{H}_2\text{O}$	2
P (H_2PO_4^-)	2,01	$\text{CuSO}_4, 5 \text{H}_2\text{O}$	0,5
K^+	3,02	$\text{ZnSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$	2
Ca^{++}	5,00	H_2BO_3	25
Mg^{++}	2,27	H_2MoO_4	0,5
S (SO_4^{--})	1,51		
Na^+	2,01		
Cl^-	3,65		
Concentração final da solução*	34,59		-----

*Considerando a temperatura da água de 20°C, pela equação geral dos gases ($PV = nRT$), equivale a pressão osmótica de 0,83atm. Para demais tratamentos, manteve-se a mesma pressão osmótica, variando apenas o fornecimento dos sais.

A partir do 6º mês (mudas com pelo menos uma folha pinada ou definitiva) foram aplicados os tratamentos em vasos individuais, com volume de 6 litros. O pH da solução nutritiva e a condutividade elétrica foram acompanhados a cada 3 dias. Também foram acompanhadas as temperaturas mínimas e máximas dentro da casa de vegetação. O pH foi corrigido para valores entre 5,5 e 6,0, com ácido clorídrico ou hidróxido de sódio, sempre que a solução apresentou caráter básico ou ácido, respectivamente. Após estabelecidos os tratamentos, a solução nutritiva foi substituída uma única vez, pelo fato de a condutividade elétrica ter abaixado ao nível de 50% do valor inicial.

Mensalmente foram feitas avaliações visuais com o intuito de caracterizar os sintomas de deficiência, bem como identificar qual a sequência de aparecimento dos sintomas para verificar o grau de sensibilidade da planta à falta de nutriente mineral.

Ao final do sexto mês sob omissão dos nutrientes (mudas com um ano de idade), foram avaliadas as características fitotécnicas (nº de folhas pinadas, nº de folhas lanceoladas, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, maior diâmetro do

bulbo, menor diâmetro do bulbo, massa de matéria seca da parte aérea, massa de matéria seca da raiz e massa de matéria seca do bulbo) e os teores dos nutrientes minerais nos tecidos da raiz, bulbo e folha.

Para a quantificação dos teores de nutrientes nas amostras dos tecidos da planta, o material foi seco em estufa a 72°C por 72 horas (até atingir peso constante). Em seguida, as amostras foram homogeneizadas e moídas. A quantificação dos teores de nutrientes foi realizada pelos seguintes métodos: para o N por titulometria (método de Kjeldhal); para o B, S e P realizaram-se digestão nitroperclórica e quantificação por calorimetria; para o K realizou-se digestão nitroperclórica e quantificação por fotometria de chama; para o Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn realizaram-se digestão nitroperclórica e quantificação por espectrofotometria de massa atômica; para o Cl, utilizou-se extração em água quente por 1 hora seguida de titulação com nitrato de prata.

O acúmulo de nutrientes nas mudas de macaúba foi obtido pela multiplicação da massa da matéria seca em gramas pelo teor do elemento observado em cada parte da planta (folha, raiz e bulbo). Em seguida, os valores foram convertidos em gramas (g) para os macronutrientes e miligramas (mg) para os micronutrientes.

Os dados foram processados no aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006) com intuito de verificar se houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F e também comparação de médias pelo teste de Dunnett, ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliações visuais

O primeiro sintoma de deficiência perceptível visualmente foi o de Fe nas folhas novas. A deficiência de Fe ocorreu em todos os tratamentos, exigindo dose corretiva. A concentração inicial de Fe-EDTA, que era de 40µm/L, foi acrescida em 66µm/L no primeiro mês, mais 46µm/L no segundo, totalizando 152µm/L. Silva *et al* (2009), avaliando a deficiência em *Jatropha curcas*, também verificaram rápida manifestação da deficiência deste elemento quando comparado aos demais micronutrientes. A principal função de Fe nas plantas é a ativação enzimática na cadeia de transporte de elétrons (MARSCHNER 1995). Além disso, o Fe catalisa a biossíntese de clorofila. Por este motivo, na falta deste elemento, a planta só sintetiza pigmentos amarelos (xantofilas e carotenos), resultando em clorose generalizada que se inicia nas folhas novas.

A partir do segundo mês, as plantas com omissão de P, K, Ca, Cu e Zn apresentaram crescimento reduzido, sendo que nas plantas com omissão de K, observou-se também deficiência mais acentuada de Fe. Wijebandara e Ranasinghe (2004) relatam efeito antagônico de Fe com outros cátions metálicos em coqueiro. Neste caso (solução nutritiva) pode haver maior interação entre elementos e conseqüentemente maior antagonismo. No terceiro mês, apareceram os sintomas de deficiência de N e Mg. Somente no quinto mês de avaliação a maioria dos sintomas se tornaram característicos, com exceção dos de B e Cl. Para estes elementos, provavelmente, a quantidade acumulada nas plantas, no período pré-experimental foi suficiente para mantê-las em pleno desenvolvimento durante a indução dos tratamentos.

O resumo das avaliações visuais e a caracterização dos sintomas de deficiência nutricional podem ser observados na Tabela 2 e Figura 2, respectivamente. De modo geral, observou-se que os sintomas de deficiência nutricional na macaúba coincidem com os observados na palma africana (dendezeiro), conforme relatos de Viégas e Botelho (2000).

Tabela 2: Caracterização da evolução dos sintomas de deficiência mineral em mudas de macaúba sob omissão de nutrientes minerais.

Tratamentos	1ª Aval. (após 30 dias)	2ª Aval. (após 60 dias)	3ª Aval. (após 80 dias)	4ª Aval. (após 100 dias)	5ª Aval. (após 120 dias)
T1 (Sol. completa)	Deficiência de Fe (FN) ¹ ;	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida;	Sem sintomas de deficiência;	Sem sintomas de deficiência;	Sem sintomas de deficiência;
T2 (omissão de N)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida;	FV ² secas (possível translocação do N para FN); Dificuldade para abrir FN; Secamento dos ponteiros e bordas das FV;	Amarelecimento das FV começa nos bordos e progride para secamento (morte tecido);	Crescimento reduzido; Folha nova mosqueada; Atraso para lançar folha nova; Poucas folhas, amarelecimento geral da planta; Sintoma bem característico.
T3 (omissão de P)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida; Cresc. Reduzido;	Crescimento Reduzido;	Crescimento reduzido; Folhas apresentam verde escuro intenso;	Crescimento reduzido; Cor verde escura intensa; Crescimento errático = brotamento - não consegue abrir ou lançar FN, má formação de folhas; Sintoma bem característico.
T4 (omissão de K)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida; Def. de K apresentou def. de Fe mais acentuada;	FN amareladas, idem deficiência de Fe inicial; FV bem secas; Crescimento reduzido;	Crescimento reduzido; FV com necrose nos bordos;	Crescimento reduzido; FV com necrose nos bordos e com clorose generalizada; Baixo vigor das plantas e aspecto de murcha; Sintoma bem característico.
T5 (omissão de Ca)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida; Crescimento reduzido;	FV com secamento nos ponteiros;	Crescimento reduzido; FN com dificuldade de abrir;	Crescimento reduzido; FN com dificuldade de abrir; Cor verde escura intensa; Crescimento errático = não consegue abrir ou lançar FN, má formação de FN; Sintoma bem característico.
T6 (omissão de Mg)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida;	FN amareladas, idem deficiência de Fe inicial; Crescimento reduzido em algumas plantas;	FN amareladas, idem def. de Fe inicial; Crescimento reduzido em algumas plantas;	Crescimento reduzido em algumas plantas; Crescimento errático – FN não se desenvolve; Clorose generalizada na planta; Sintoma bem característico.
T7 (omissão de S)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida;	Sem sintomas de deficiência;	FN com dificuldade de abrir;	FN amareladas, mosqueadas; Baixo vigor; Sintoma bem característico.
T8 (omissão de Cl)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida;	Sem sintomas de deficiência;	Sem sintomas de deficiência;	Sintoma pouco característico.
T9 (omissão de Fe)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) bem característica;	Sintomas bem característicos; Inicia-se com amarelecimento pálido das FN e progride para um amarelo intenso .	Folhas vão passando do amarelo claro para amarelo;	Planta não desenvolve, início da senescência; FN amareladas, Morte de algumas planta; Sintoma bem característico.
T10 (omissão de B)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida;	Sem sintomas de deficiência;	Sem sintomas de deficiência;	FN com dificuldade de abrir; Clorose em algumas FN; Má formação de FN, pecíolos curtos; Sintoma pouco característico.
T11 (omissão de Cu)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida; Crescimento reduzido;	Crescimento reduzido;	Crescimento reduzido;	Crescimento reduzido; Folhas com necrose nervuras, FN pequenas e mosqueadas, Morte de algumas planta; Má formação de FN, Sintoma bem característico.
T12 (omissão de Zn)	Deficiência de Fe (FN);	Deficiência de Fe (FN) parcialmente corrigida; Crescimento reduzido;	Crescimento reduzido; Sintomas bem característicos, FN mosqueadas (amareladas internervuras e verdes no meio);	Crescimento reduzido; Sintomas bem característicos, FN mosqueadas (amareladas internervuras e verdes no meio);	Crescimento reduzido; FN mosqueadas; Planta com nanismo, sem crescimento vertical. Sintoma bem característico.

Dados: ¹FN = folha nova; ²FV = folha velha.



T1: Testemunha



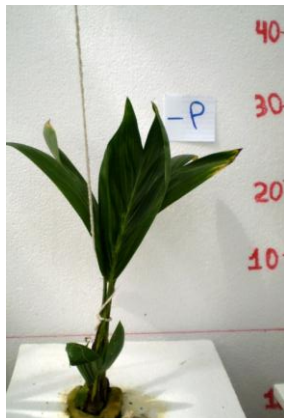
T1: situação ideal/desenvolvimento pleno



T2: Deficiência de N



T2: sintoma mais característico



T3: Deficiência de P



T3: sintoma mais característico



T4: Deficiência de K



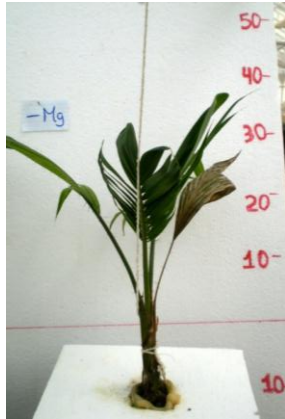
T4: sintoma mais característico



T5: Deficiência de Ca



T5: sintoma mais característico



T6: Deficiência de Mg



T6: sintoma mais característico



T7: Deficiência de S



T7: sintoma mais característico



T8: Deficiência de Cl



T8: sem sintoma característico



T9: Deficiência de Fe



T9: sintoma mais característico



T10: Deficiência de B



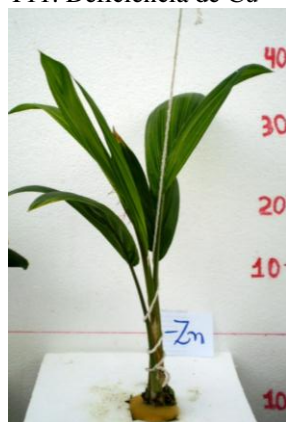
T10: sem sintoma característico



T11: Deficiência de Cu



T11: sintoma mais característico



T12: Deficiência de Zn



T12: sintoma mais característico

Figura 2: Caracterização dos sintomas de deficiência mineral em mudas de macaúba sob omissão de nutrientes minerais.

Avaliações fitotécnicas

Para maioria das variáveis estudadas observou-se diferença significativa entre as médias dos tratamentos e a testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnett, confirmando-se estatisticamente o efeito da deficiência nutricional observado nas avaliações visuais (Tabela 3). Para o número de folhas lanceoladas, número de folhas pinadas e comprimento da raiz não foi observada diferença significativa pelo teste de médias.

Tabela 3: Médias do número de folhas pinadas (NFP), número de folhas lanceoladas (NFL), comprimento da parte aérea (CPA); comprimento da raiz (CRA), maior diâmetro do bulbo (>DCO), menor diâmetro do bulbo (<DCO); massa seca da parte aérea (MSP); massa seca da raiz (MSR) e massa seca do bulbo (MSB) de mudas de macaúba submetidas aos diferentes tratamentos.

Tratamentos	NFP (und.)	NFL (und.)	CPA (cm)	CRA (cm)	>DCO (mm)	<DCO (mm)	MSP (g)	MSR (g)	MSB (g)
Completo	2,16 (1,75) a	3,16 (2,03) a	70,83 a	50,83 a	28,33 a	24,17 a	23,28 a	8,40 a	10,41 a
Omissão de N	2,83 (1,95) a	1,83 (1,65) a	63,83 a	60,50 a	21,00 a	16,83 b	18,78 a	8,63 a	11,69 a
Omissão de P	2,83 (1,95) a	2,66 (1,90) a	49,00 b	54,17 a	21,67 a	16,17 b	14,71 b	6,66 a	9,36 a
Omissão de K	3,00 (1,98) a	1,83 (1,66) a	60,83 a	49,17 a	23,17 a	16,17 b	19,64 a	6,41 a	8,86 a
Omissão de Ca	2,83 (1,90) a	2,83 (1,93) a	46,83 b	38,83 a	27,67 a	15,33 b	12,64 b	5,81 a	6,65 a
Omissão de Mg	3,00 (1,99) a	1,83 (1,68) a	52,83 b	36,00 a	29,17 a	21,00 a	17,59 a	5,09 b	6,81 a
Omissão de S	3,66 (2,16) a	1,33 (1,50) a	55,50 a	49,00 a	23,83 a	17,50 b	18,39 a	6,09 a	10,90 a
Omissão de Cl	3,66 (2,16) a	2,33 (1,81) a	68,50 a	46,00 a	25,83 a	22,17 a	23,52 a	8,60 a	13,09 a
Omissão de Fe	1,40 (1,39) a	3,20 (1,85) a	48,67 b	50,00 a	15,67 b	12,83 b	8,82 b	3,15 b	5,58 b
Omissão de B	3,66 (2,16) a	2,16 (1,76) a	65,17 a	50,00 a	29,17 a	19,67 a	25,36 a	9,38 a	13,70 a
Omissão de Cu	2,40 (1,83) a	2,80 (1,78) a	39,83 b	44,67 a	21,17 a	16,33 b	10,68 b	3,71 b	6,04 a
Omissão de Zn	3,16 (2,03) a	3,00 (1,72) a	56,67 a	44,17 a	36,67 b↑	19,50 a	18,72 a	6,08 a	9,31 a
DMS Dunnett (5%)	(0,49)	(0,54)	16,12	15,20	7,97	6,05	6,66	2,74	4,82
Média Geral	2,91 (1,94)	2,31 (1,77)	56,54	47,78	25,28	18,14	17,68	6,50	9,37

Valores de NFP e NFL entre parêntesis foram transformados para seguir distribuição normal segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Considerando os macronutrientes, as plantas com omissão de Ca e P manifestaram pior desenvolvimento, uma vez que apresentaram menor produção de matéria seca da parte aérea em comparação com a testemunha. Na fase de mudas, há grande demanda metabólica para estes elementos, visto que atuam como elementos estruturais. O Ca está envolvido na constituição e alongação da parede celular e apresenta baixa mobilidade no interior da planta, o que explica o baixo crescimento e a alta sensibilidade da planta a omissão deste nutriente. Por outro lado, o P além de atuar

como constituinte dos ácidos nucléicos e membranas, também atua no transporte de energia e apresenta elevada mobilidade (MARSCHNER, 1995; TAIZ e ZEIGER, 2004). Logo, pode haver elevada sensibilidade da macaúba a falta deste nutriente, o que culminou com o baixo desenvolvimento da planta logo no início do experimento.

Para o N, K, Mg e S, observou-se diferença significativa em pelo menos uma das características avaliadas (Tabela 3), quando comparado à testemunha. Porém, estes sintomas manifestaram-se mais lentamente do que os observados para Ca e P (Tabela 2), indicando que a sensibilidade da planta à falta destes elementos é menor na fase de mudas. Por outro lado, o K e o N são os elementos minerais acumulados em maior quantidade nas palmáceas adultas, o que sugere haver alta sensibilidade da planta à falta destes elementos. Assim, a quantidade acumulada destes elementos na fase que antecedeu a indução dos tratamentos pode ter sido suficiente para manter o crescimento das plantas. Resultados similares foram encontrados por Silva *et al* (2009) em pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).

De maneira geral as plantas com deficiência dos micronutrientes Fe e Cu apresentaram as piores performances. Segundo Dechen e Nachtigall (2006) os micronutrientes metálicos apresentam baixa mobilidade na planta. Logo, a omissão de Fe e Cu tende a manifestar sintomas nas folhas novas, uma vez que a redistribuição destes nutrientes é baixa ou nula. Isto pode justificar a maior severidade dos sintomas de deficiência observados nesses tratamentos, visto que a omissão destes elementos rapidamente reduziu o crescimento e desenvolvimento das plantas. No caso do Zn, a única característica que diferiu da testemunha foi o diâmetro do coleto. Apesar de esta característica estar correlacionada positivamente com o desenvolvimento da planta, neste experimento a omissão do Zn causou crescimento reduzido e engrossamento excessivo do coleto, o que indica sensibilidade da planta à deficiência deste elemento.

Para os micronutrientes aniônicos, B e Cl, os sintomas de deficiência não foram manifestados claramente no experimento. Neste caso, o acúmulo destes elementos na planta durante a fase pré-experimental pode ter sido suficiente para manter o crescimento e desenvolvimento das mudas. Provavelmente houve grande contribuição do endosperma da amêndoa que fica aderido a muda até o 4º mês, além da absorção do elemento durante a aclimação das mudas na solução nutritiva completa. Entretanto, não foi possível prorrogar o período de avaliação do experimento até que todos os sintomas se manifestassem, pois as plantas com deficiência dos micronutrientes metálicos (Fe e Cu) entraram em senescência, seguida de morte.

Avaliações químicas

Os teores médios (concentração) dos elementos minerais nas três partes da planta podem ser observados na Tabela 4, abaixo.

Tabela 4: Médias dos teores de nutrientes minerais em mudas de macaúba cultivadas no sistema hidropônico com omissão de nutrientes minerais.

Tratamentos	Teores minerais médios na folha											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
	.....dag/kg.....						.....mg/kg.....					
Completo	2,68a	0,27a	2,02a	1,32a	0,30a	0,33a	2,50a	66,00a	47,80a	2,50a	19,50a	215,50a
Omissão de N	1,80a	0,20a	1,76a	1,53a	0,51a	0,22a	2,65a	107,50a	60,80a	2,00a	17,50a	619,50a
Omissão de P	2,59a	0,08b	1,44a	1,48a	0,28a	0,21a	1,75a	151,50a	76,50a	2,00a	15,50a	109,50a
Omissão de K	2,35a	0,29a	0,82b	1,96a	0,65 b	0,25a	3,30a	75,50a	100,6 a	2,50a	20,50a	270,50a
Omissão de Ca	3,60a	0,41b	1,98a	0,13b	0,77 b	0,38a	1,85a	110,00a	89,35a	2,50a	28,00a	420,00a
Omissão de Mg	2,64a	0,40b	1,98a	2,41b	0,07a	0,38a	2,60a	122,50a	94,20a	3,50a	14,00a	342,50a
Omissão de S	2,59a	0,23a	1,90a	1,70a	0,31a	0,15b	2,30a	96,50a	91,55a	2,00a	19,00a	149,50a
Omissão de Cl	2,51a	0,30a	2,30a	0,80a	0,27a	0,25a	1,10a	48,00a	27,80a	1,00a	18,50a	106,50a
Omissão de Fe	2,83a	0,33a	2,32a	1,82a	0,43a	0,32a	2,25a	81,00a	76,50a	2,00a	20,50a	903,50a
Omissão de B	2,94a	0,24a	1,96a	1,60a	0,32a	0,29a	2,10a	101,50a	25,60a	3,00a	14,50a	218,50a
Omissão de Cu	3,04a	0,34a	1,86a	1,58a	0,28a	0,34a	2,40a	112,00a	93,20a	1,50a	18,50a	253,50a
Omissão de Zn	2,87a	0,27a	1,90a	1,89a	0,34a	0,34a	1,85a	84,00a	74,75a	3,00a	16,50a	275,50a
	Teores minerais médios na raiz											
Completo	1,79a	0,29a	1,56a	0,38a	0,32a	0,45a	1,80a	1.809,00a	20,10a	97,50a	146,00a	1.495,50a
Omissão de N	0,89b	0,23a	1,32a	0,29a	0,45a	0,32a	2,00a	1.438,50a	17,35a	35,50a	147,50a	842,50a
Omissão de P	1,61a	0,07b	1,40a	0,25a	0,22a	0,35a	1,30a	2.078,50a	16,00a	33,00a	48,50a	312,00b
Omissão de K	2,02a	0,28a	0,48b	0,62a	0,65b	0,46a	1,85a	2.068,00a	17,25a	101,50a	110,00a	1.209,50a
Omissão de Ca	2,41a	0,31a	1,44a	0,14b	0,35a	0,54a	1,60a	2.088,50a	16,10a	65,50a	115,00a	773,50b
Omissão de Mg	1,96a	0,28a	1,78a	0,50a	0,06a	0,45a	1,70a	1.977,00a	16,65a	62,00a	352,00b	1.066,00a
Omissão de S	1,49a	0,27a	1,72a	0,37a	0,37a	0,27b	1,80a	2.347,00a	16,00a	54,00a	91,00a	892,50a
Omissão de Cl	1,58a	0,27a	1,78a	0,41a	0,38a	0,44a	1,10a	1.987,00a	19,25a	67,50a	124,50a	1.109,50a
Omissão de Fe	1,71a	0,29a	1,86a	0,51a	0,52a	0,44a	1,85a	130,50b	15,35a	97,50a	382,50b	1.155,00a
Omissão de B	1,37a	0,27a	1,84a	0,44a	0,48a	0,38a	2,30a	1.540,50a	15,40a	50,50a	82,50a	621,50b
Omissão de Cu	1,82a	0,30a	1,90a	0,34a	0,32a	0,44a	1,90a	2.281,50a	27,80a	4,50b	145,50a	446,00b
Omissão de Zn	1,75a	0,32a	1,64a	0,40a	0,45a	0,43a	1,85a	2.443,50a	28,05a	61,50a	75,50a	849,00a
	Teores minerais médios no bulbo											
Completo	3,01a	0,51a	2,38a	1,54a	0,53a	0,38a	2,85a	170,00a	22,70a	7,00a	60,50a	129,50a
Omissão de N	0,90b	0,29b	2,30a	1,06b	0,58a	0,22a	3,70a	152,50a	24,10a	6,00a	26,00a	329,00a
Omissão de P	3,03a	0,12b	1,54b	0,85b	0,35a	0,18a	2,35a	484,50a	21,35a	9,50a	50,00a	114,00a
Omissão de K	3,22a	0,51a	0,90b	1,50a	0,75a	0,34a	2,85a	140,50a	18,60a	6,50a	69,50a	124,50a
Omissão de Ca	5,43b	0,72b	1,76b	0,11b	0,66a	0,33a	1,70a	297,50a	22,00a	9,50a	166,00a	131,00a
Omissão de Mg	5,81b	0,62b	2,14a	1,67a	0,08b	0,42a	2,65a	159,50a	25,60a	9,00a	88,50a	77,50a
Omissão de S	2,84a	0,45a	1,84a	0,80b	0,35a	0,15b	2,20a	186,50a	27,95a	5,50a	48,50a	95,50a
Omissão de Cl	2,62a	0,40b	2,22a	0,89b	0,37a	0,31a	1,70b	168,00a	35,85a	5,00a	34,50a	96,50a
Omissão de Fe	4,43b	0,59a	1,76b	1,09b	0,45a	0,31a	2,25a	43,00a	21,35a	6,00a	57,00a	202,00
Omissão de B	2,69a	0,34b	1,92a	1,22b	0,45a	0,32a	2,55a	161,50a	14,85a	4,50a	35,00a	88,50a
Omissão de Cu	3,97b	0,60a	1,78b	0,99b	0,44a	0,40a	2,30a	284,50a	21,30a	1,50a	56,50a	98,50a
Omissão de Zn	3,30a	0,55a	2,02a	1,06b	0,45a	0,36a	2,40a	136,50a	23,45a	5,50a	41,00a	81,00a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

De modo geral, observou-se redução nos teores dos elementos minerais omitidos em todos os tratamentos, quando comparado com a testemunha, em pelo menos um órgão da planta (folha, raiz ou bulbo), com exceção do B e do Zn. Para os tratamentos com omissão dos micronutrientes metálicos (Fe, Cu e Zn) houve pouca variação nos teores foliares quando comparado com a testemunha, entretanto, nas raízes os valores foram bastante discrepantes. Salvador *et al* (1994) estudando a deficiência nutricional em cupuaçu também não encontraram diferença nos teores foliares de cobre entre plantas com sintomas visíveis de deficiência e o tratamento controle, o que sugere que esses elementos precisam ser melhor estudados nas raízes. Quando comparados os teores foliares médios na testemunha aos observados em outras palmáceas, percebe-se ordem de grandeza similar, com exceção do cloro (Tabela 5).

Tabela 5: Níveis críticos de nutrientes na palma e coqueiro gigante e, teor foliar na macaúba cultivada em sistema hidropônico.

Nutrientes	Palma (9ª folha) ¹	Coqueiro (9ª folha) ²	Macaúba (parte aérea da muda) ³
Macronutrientes	.....dag kg ⁻¹ MS.....		
N	2,75	2,20	2,68
P	0,16	0,13	0,27
K	1,25	1,15	2,02
Ca	0,24	0,44	1,32
Mg	0,60	0,24	0,30
S	0,22	0,15	0,33
Micronutrientes	.....mg kg ⁻¹ MS.....		
Cl	3.200	400 a 2.330	25.000
Mn	168	100	216
Fe	41	40	66
Zn	7	15	20
B	23	10	48
Cu	5	5	3

Dados: ¹e² Nível crítico do nutriente na folha 9 (planta adulta).

³Teor médio na testemunha (solução completa), em plantas cultivadas em sistema hidropônico, com 1 ano de idade.

Fonte: Sobral (1998); Viégas e Botelho (2000).

Entretanto, é preciso considerar que plantas jovens tendem a apresentarem teores mais elevados de nutrientes móveis quando comparadas às plantas adultas (MARSCHNER, 1995). Além disso, no sistema de cultivo hidropônico não há restrição à absorção dos nutrientes minerais, como ocorre com cultivo no solo, o que pode levar a planta a absorver e acumular os elementos em excesso. No caso específico do cloro, observou-se que o teor foliar nas mudas foi superior ao observado nas outras duas palmáceas em torno de 10 vezes, indicando que a macaúba tem capacidade de acumular

este elemento em grandes quantidades sem prejudicar o crescimento da planta. De modo geral, esse elemento apresenta grande variação nos tecidos foliares de palmáceas. Em cultivos comerciais de coqueiro na Oceania, Ollivier *et al* (1999) encontraram teores foliares variando de 90 a 9.620 mg/kg.

Vários autores consideram o cloro como macronutriente em palmáceas (UEXKULL, 1972; OUVRIER, 1984, VIÉGAS e BOTELHO 2000; CORLEY e TINKER, 2003). Por outro lado, o fato de o nutriente ser bem tolerado ou acumulado em grandes quantidades não quer dizer que exista alta demanda fisiológica para o elemento. De qualquer modo, o nível crítico para Cl nas palmáceas é alto, na ordem de g/kg de matéria seca. Segundo Marschner (1995) o cloro atua como elemento complementar ao K no balanço osmótico das palmáceas, as quais apresentam células guardas (estômatos) pouco desenvolvidas.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, observa-se que a omissão de um determinado elemento pode causar desequilíbrio nutricional, que por sua vez pode afetar a concentração de outros elementos. Isto pode ser observado, por exemplo, nas plantas submetidas à deficiência de Fe, as quais apresentaram teor de Mn na folha muito maior do que a observada na testemunha. Mengel e Kirkby (1987) relatam que a soma de cátions absorvida por determinada espécie vegetal tende a ser pouco alterada em função do meio onde se desenvolvem. Logo, a omissão de um determinado nutriente pode resultar no aumento proporcional de outro com características similares.

Entretanto, a comparação do teor do nutriente no tecido planta (concentração) não é suficiente para indicar o grau de severidade à deficiência nutricional, pois plantas com mesmo teor do nutriente em determinado tecido podem apresentar massa de matéria seca diferentes, resultando na maior ou menor quantidade do elemento acumulado na planta. Deste modo, para expressar melhor a sensibilidade da planta a omissão do nutriente mineral, foi analisado o acúmulo do nutriente na planta (conteúdo), obtido através da multiplicação da massa de matéria seca pelo teor do elemento, conforme subitens a seguir.

Acúmulo de nutrientes minerais na macaúba

Quando se observa a partição dos elementos na planta, observa-se que há certo equilíbrio entre os percentuais dos macronutrientes distribuídos entre folhas, raízes e

bulbos das mudas. Por exemplo, no caso N, 36% é acumulado na folha, 24% na raiz e 40% no bulbo (Tabela 6). Por outro lado, no caso dos micronutrientes metálicos (Fe, Cu, Zn e Mn), observou-se maior concentração nas raízes das plantas em detrimento às outras partes (folhas e bulbo), como segue: Fe (88%), Cu (91%), Zn 65% e Mn 81%. Isto precisa ser melhor estudado em trabalhos futuros, pois pode haver problemas de translocação interno na espécie ou, pelo fato das plantas serem cultivadas em sistema hidropônico, pode ter ocorrido absorção facilitada destes micronutrientes catiônicos, porém, não houve translocação interna na planta, resultando no maior acúmulo relativo destes elementos nas raízes.

Tabela 6: Partição dos nutrientes minerais acumulados em mudas de macaúba cultivadas em sistema hidropônico.

Nutriente	Folha*		Raiz*		Bulbo*		Total:	
	g	%	g	%	g	%	g	%
Macronutrientes								
N	0,62	36%	0,42	24%	0,70	40%	1,73	100%
P	0,06	25%	0,07	27%	0,12	47%	0,25	100%
K	0,47	34%	0,36	26%	0,56	40%	1,39	100%
Ca	0,31	41%	0,09	12%	0,36	47%	0,75	100%
Mg	0,07	26%	0,07	28%	0,12	46%	0,27	100%
S	0,08	29%	0,10	39%	0,09	33%	0,27	100%
Cl	0,59	35%	0,42	25%	0,67	40%	1,67	100%
Micronutrientes	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%
Fe	0,15	3%	4,21	88%	0,40	8%	4,76	100%
B	0,11	53%	0,05	22%	0,05	25%	0,21	100%
Cu	0,01	2%	0,23	91%	0,02	6%	0,25	100%
Zn	0,05	9%	0,34	65%	0,14	27%	0,53	100%
Mn	0,49	12%	3,47	81%	0,30	7%	4,27	100%

*Calculado pela média do tratamento controle (testemunha = solução completa).

Uma vez determinado o acúmulo de nutrientes, foi possível sequenciá-los em ordem decrescente de quantidade acumulada na planta e compará-los com os observados em outras palmáceas (Tabela 7). No caso da macaúba cultivada em sistema hidropônico, observou-se maior concentração de Cl e N, provavelmente, por haver um “consumo de luxo” para estes nutrientes ou pelo fato de se tratar de plantas jovens.

Tabela 7: Comparação da ordem decrescente de acúmulo de nutrientes minerais em mudas de macaúba com observado em outras palmáceas.

Palmácea	Ordem decrescente de acúmulo de nutrientes minerais											
Macaúba* (hidroponia)	N>	Cl>	K>	Ca>	S>	Mg>	P>	Fe>	Mn>	Zn>	Cu>	B
Palma (2 anos)	K>	N>	Cl>	Ca>	Mg>	P>	S>	Fe>	Mn>	Zn>	B>	Cu
Coqueiro (adulto)	K>	N>	Cl>	P>	Mg>	S>	Ca>	Fe>	Mn>	Zn>	B>	Cu

Fonte: Sobral (1998); Viégas e Botelho (2000).

*Calculado pela média do tratamento controle (testemunha = solução completa).

Quando comparado o desempenho dos tratamentos com a testemunha por meio de teste de médias (Dunnett), observou-se diferenças entre as médias dos tratamentos em pelo menos um órgão da planta, com exceção do B e do Zn (Tabelas 8, 9 e 10). No caso do Boro, a deficiência não foi caracterizada, conforme descrito anteriormente. Para o Zn, apesar de se ter observado sintomas característicos de deficiência nutricional, não foi possível detectar diferença estatística entre as médias do tratamento e da testemunha.

De modo geral, estes dados confirmam os resultados obtidos nas avaliações visuais e fitotécnicas, evidenciando que foi possível induzir a deficiência nutricional em todos os tratamentos, exceto para a omissão de Cl e B. Observou-se que as plantas tiveram seu desenvolvimento mais comprometido pelas omissões de Fe e Cu. A deficiência de Fe foi a primeira a manifestar sintomas visuais. Como houve drástica redução no crescimento, as concentrações (teor) e conteúdos (acúmulo) foliares foram pouco afetadas pela omissão, embora a concentração e acúmulos radiculares tenham sido muito afetadas. Os sintomas visuais de deficiência de cobre demoram mais para se tornarem evidentes e foram menos característicos, porém com relação às concentrações e conteúdos, a resposta foi semelhante à do ferro.

Ao Fe e o Cu, seguiram-se Ca e P, com redução no crescimento, acúmulo de matéria seca, concentrações e conteúdos em todas as partes das plantas, além de apresentarem sintomas visuais bem característicos.

Ao Ca e P, seguiu-se o Mg, que apresentou sintomas visuais bem caracterizados, restrição no crescimento em altura e acúmulo de matéria seca da raiz. As concentrações e conteúdos de modo geral foram também menores nos diferentes órgãos das plantas.

N e K, embora com sintomas bem caracterizados, não apresentaram efeito evidente no crescimento das mudas. As plantas sob omissão apresentaram redução em

concentrações e conteúdos, mas tais reduções não foram suficientes para restringir o crescimento durante o período de avaliação do experimento.

As concentrações de S e Zn permitiram descrever os sintomas que foram bem caracterizados, mas não afetaram o crescimento e produção de matéria seca. As concentrações foliares de Zn não sofreram efeito, mas as das raízes tiveram drástica redução. No entanto, o acúmulo nas raízes não sofreu efeito significativo.

A deficiência de B e seu efeito foram pouco característicos. O Cl é bem tolerado pela espécie, mas sua omissão não restringiu o crescimento e produção de matéria seca, o que não dá indícios de que a espécie seja mais exigente que as demais quanto aos níveis deste nutriente.

Acumulado na folha

Tabela 8: Médias do acúmulo de nutrientes minerais na massa da matéria seca de folhas¹ de macaúba cultivada em sistema hidropônico.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Completo	0,622 a	0,062 a	0,469 a	0,309 a	0,069 a	0,077 a	0,586 a	0,153 a	0,111 a	0,006 a	0,046 a	0,495 a
Omissão de N	0,333 b	0,038 a	0,330 a	0,284 a	0,095 a	0,041 b	0,489 a	0,213 a	0,117 a	0,004 a	0,034 a	1,151 b
Omissão de P	0,386 b	0,012 b	0,209 a	0,215 a	0,041 a	0,031 b	0,256 b	0,225 a	0,112 a	0,003 a	0,023 a	0,159 a
Omissão de K	0,464 a	0,057 a	0,160 b	0,383 a	0,127 a	0,048 a	0,647 a	0,150 a	0,202 a	0,005 a	0,040 a	0,533 a
Omissão de Ca	0,455 a	0,053 a	0,247 a	0,017 b	0,098 a	0,048 a	0,237 b	0,139 a	0,119 a	0,003 a	0,035 a	0,538 a
Omissão de Mg	0,457 a	0,071 a	0,350 a	0,417 a	0,013 a	0,067 a	0,450 a	0,221 a	0,168 a	0,006 a	0,025 a	0,604 a
Omissão de S	0,475 a	0,042 a	0,349 a	0,312 a	0,057 a	0,027 b	0,424 a	0,178 a	0,169 a	0,004 a	0,035 a	0,275 a
Omissão de Cl	0,593 a	0,070 a	0,553 a	0,184 a	0,062 a	0,057 a	0,259 b	0,113 a	0,065 a	0,002 a	0,043 a	0,256 a
Omissão de Fe	0,249 b	0,029 a	0,206 a	0,158 a	0,037 a	0,028 b	0,195 b	0,073 a	0,067 a	0,002 a	0,018 a	0,802 b
Omissão de B	0,752 a	0,060 a	0,494 a	0,410 a	0,080 a	0,074 a	0,526 a	0,256 a	0,066 a	0,008 a	0,037 a	0,553 a
Omissão de Cu	0,322 b	0,037 a	0,196 b	0,162 a	0,029 a	0,035 b	0,232 b	0,121 a	0,101 a	0,002 a	0,020 a	0,272 a
Omissão de Zn	0,526 a	0,051 a	0,358 a	0,362 a	0,062 a	0,059 a	0,334 b	0,159 a	0,126 a	0,006 a	0,032 a	0,458 a
DMS Dunnett (5%)	0,228	0,039	0,340	0,226	0,059	0,035	0,227	0,246	0,303	0,004	0,032	0,679
Média Geral	0,455	0,048	0,327	0,268	0,064	0,049	0,386	0,175	0,119	0,004	0,032	0,508

¹Acúmulo de cada nutriente mineral foi obtido pela multiplicação do teor foliar pela massa seca da folha (em g para N, P, K, Ca, Mg, S, Cl e, mg para Fe, Cu, B, Zn e Mn). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Acumulado na raiz

Tabela 9: Médias do acúmulo de nutrientes minerais na massa da matéria seca de raízes¹ de macaúba cultivada em sistema hidropônico.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Completo	0,416 a	0,067 a	0,364 a	0,088 a	0,074 a	0,105 a	0,419 a	4,212 a	0,047 a	0,229 a	0,340 a	3,472 a
Omissão de N	0,166 b	0,043 b	0,247 a	0,053 a	0,083 a	0,060 a	0,374 a	2,720 a	0,033 a	0,068 a	0,286 a	1,575 b
Omissão de P	0,236 b	0,010 b	0,207 a	0,036 a	0,032 a	0,051 b	0,191 b	3,082 a	0,023 a	0,049 a	0,071 b	0,463 b
Omissão de K	0,397 a	0,054 a	0,094 b	0,122 a	0,127 a	0,090 a	0,363 a	4,041 a	0,034 a	0,197 a	0,216 a	2,360 a
Omissão de Ca	0,304 a	0,039 b	0,182 a	0,016 b	0,044 a	0,069 a	0,202 b	2,649 a	0,021 a	0,083 a	0,148 a	0,985 b
Omissão de Mg	0,335 a	0,048 a	0,315 a	0,088 a	0,011 b	0,078 a	0,297 a	3,467 a	0,029 a	0,107 a	0,604 b	1,835 b
Omissão de S	0,273 b	0,050 a	0,316 a	0,068 a	0,068 a	0,050 b	0,332 a	4,315 a	0,029 a	0,099 a	0,167 a	1,642 b
Omissão de Cl	0,369 a	0,062 a	0,417 a	0,097 a	0,092 a	0,101 a	0,259 a	4,489 a	0,045 a	0,157 a	0,283 a	2,569 a
Omissão de Fe	0,149 b	0,026 b	0,165 b	0,045 a	0,046 a	0,039 b	0,165 b	0,112 b	0,013 b	0,087 a	0,342 a	1,034 b
Omissão de B	0,351 a	0,069 a	0,471 a	0,113 a	0,122 a	0,097 a	0,576 a	4,018 a	0,040 a	0,135 a	0,214 a	1,628 b
Omissão de Cu	0,194 b	0,032 b	0,205 a	0,035 a	0,035 a	0,046 b	0,203 b	2,304 a	0,029 a	0,005 b	0,146 a	0,464 b
Omissão de Zn	0,321 a	0,057 a	0,299 a	0,077 a	0,085 a	0,077 a	0,344 a	4,384 a	0,050 a	0,117 a	0,138 a	1,602 b
DMS Dunnett (5%)	0,130	0,024	0,188	0,062	0,063	0,048	0,170	2,571	0,032	0,184	0,226	1,225
Média Geral	0,283	0,046	0,274	0,070	0,068	0,072	0,310	3,305	0,033	0,111	0,246	1,636

¹Acúmulo de cada nutriente mineral foi obtido pela multiplicação do teor foliar pela massa seca da raiz (em g para N, P, K, Ca, Mg, S, Cl e, mg para Fe, Cu, B, Zn e Mn). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Acumulado no bulbo

Tabela 10: Médias do acúmulo de nutrientes minerais na massa da matéria seca de bulbos¹ de macaúba cultivada em sistema hidropônico.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Completo	0,696 a	0,116 a	0,556 a	0,358 a	0,122 a	0,088 a	0,666 a	0,396 a	0,053 a	0,016 a	0,140 a	0,303 a
Omissão de N	0,169 a	0,054 b	0,430 a	0,200 a	0,108 a	0,041 a	0,693 a	0,290 a	0,045 a	0,011 a	0,050 a	0,625 b
Omissão de P	0,445 a	0,016 b	0,226 a	0,124 b	0,051 b	0,028 a	0,349 a	0,708 b	0,031 a	0,014 a	0,072 a	0,170 a
Omissão de K	0,632 a	0,100 a	0,176 a	0,295 a	0,147 a	0,066 a	0,561 a	0,273 a	0,036 a	0,013 a	0,137 a	0,246 a
Omissão de Ca	0,677 a	0,090 a	0,219 a	0,014 b	0,083 a	0,041 a	0,214 b	0,388 a	0,028 a	0,012 a	0,210 b	0,167 a
Omissão de Mg	1,038 a	0,106 a	0,378 a	0,289 a	0,014 b	0,074 a	0,475 a	0,278 a	0,045 a	0,016 a	0,150 a	0,136 a
Omissão de S	0,522 a	0,082 a	0,339 a	0,147 b	0,064 a	0,028 b	0,405 a	0,343 a	0,051 a	0,010 a	0,089 a	0,175 a
Omissão de Cl	0,636 a	0,093 a	0,529 a	0,216 a	0,090 a	0,074 a	0,413 a	0,386 a	0,085 b	0,012 a	0,082 a	0,223 a
Omissão de Fe	0,384 a	0,051 b	0,156 b	0,096 b	0,040 b	0,027 b	0,202 b	0,038 a	0,019 a	0,005 a	0,050 a	0,181 a
Omissão de B	0,688 a	0,084 a	0,490 a	0,301 a	0,114 a	0,081 a	0,645 a	0,409 a	0,039 a	0,012 a	0,086 a	0,221 a
Omissão de Cu	0,424 a	0,066 b	0,197 b	0,111 b	0,049 b	0,041 a	0,261 a	0,262 a	0,023 a	0,001 b	0,064 a	0,110 a
Omissão de Zn	0,611 a	0,102 a	0,392 a	0,207 a	0,088 a	0,068 a	0,468 a	0,244 a	0,045 a	0,010 a	0,080 a	0,154 a
DMS Dunnett (5%)	0,590	0,050	0,326	0,164	0,062	0,047	0,443	0,628	0,026	0,009	0,136	0,257
Média Geral	0,588	0,080	0,341	0,196	0,081	0,055	0,446	0,337	0,042	0,011	0,101	0,226

¹Acúmulo de cada nutriente mineral foi obtido pela multiplicação do teor foliar pela massa seca do bulbo (em g para N, P, K, Ca, Mg, S, Cl e, mg para Fe, Cu, B, Zn e Mn). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

1. Os resultados permitiram caracterizar os sintomas de deficiência mineral em plantas jovens de macaúba e obter valores de referência para os teores de nutrientes minerais na matéria seca das folhas, sendo eles 2,68; 0,27; 2,02; 1,32; 0,30; 0,33; 2,50 dag/kg de N, P, K, Ca, Mg, S e Cl respectivamente. Para Fe, B, Cu, Zn e Mn esses valores são 66,00; 47,80; 2,50; 19,50 e 215,50 mg/kg, respectivamente;
2. O acúmulo total de nutrientes na matéria seca de plantas jovens de macaúba, segue a seguinte ordem decrescente: $N > Cl > K > Ca > S > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu > B$;
3. A macaúba possui capacidade de acumular cloro em grandes quantidades sem prejudicar o crescimento e desenvolvimento da planta;
4. A macaúba apresenta resposta lenta aos sintomas de deficiência mineral, com exceção dos micronutrientes metálicos Fe e Cu. Para os macronutrientes, a maior sensibilidade da planta foi observada na omissão de P, Ca e K.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (pela concessão da bolsa de estudos), à FINEP e a EMBRAPA pelo financiamento do projeto de pesquisa (projeto Propalma).

REFERÊNCIAS

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm** (4nd ed). Oxford/EUA: Blackwell Science, 2003. 562p.

CRUZ, C. D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DREHER, F. Promising South American Oil Palm *Acrocomia totai* Mart.: Current Status and Future Prospects. **Thesis** (Doctor Science in Agricultural Economics) – Hochschule für Wirtschaft und Umwelt, Fakultät 2, Nürtinger-Geislinger, Germany, 62 p, 2009.

DUFOUR, F.; QUENCEZ, P.; SCHITTY, G. Technique de Culture en Solutions Nutritives du Palmer a Huile et du Cocotier. *Oléagineux*, Paris, v. 33, n. 10, p. 485-490. 1978.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Ed. Rima, 2006. 550p.

LORENZI, G. M. A. C. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável. **Tese** (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 156 p, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants** (2nd ed.) London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENT, J. M. **O Uso do Cultivo Hidropônico de Plantas em Pesquisa**. Viçosa: Editora UFV, 2011. 76p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plants nutrition** (4nd ed). Bern: Potash International Institute, 1987. 687p.

MOTOIKE, S. Y.; LOPES, F. A.; SÁ JUNIOR, A. Q. de; *et al.* Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*. **Patente: PI0703180-7**. 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F. de; *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

OLLIVIER, J.; AKUS, W.,; BONNEAU, X. Coconut Nutrition in Papua New Guinea. Special Edition CORD, v. 15, n. 2, p. 76-105, 1999.

OUVRIER, M. Exportation par la récolte du cocotier PB-121 en fonction de la potassique et magnésienne. *Oléagineux*, v.39, n.5, p. 263-271, 1984.

PIMENTEL, L. D.; MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; PAES, J. M. V.; BRUCKNER, C. H. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. *Informe Agropecuário*, v. 32, n. 265, p. 61-69, 2011.

SALVADOR, J. O.; MURAOKA, T.; ROSSETO, R.; RIBEIRO, G. de A. Sintomas de deficiências nutricionais em cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) cultivado em solução nutritiva. *Sic. Agrícola*, v.51, n.3, p. 407-414. 1994.

SILVA, E. B.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; RESENDE JÚNIOR, P. S. de. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. *Pesq. Agrop. Brasileira*, v.44, n.4, p. 392-397. 2009.

SOBRAL, L. F. Nutrição mineral do coqueiro. In: FERREIRA, J. M, S.; WARNICK, D. R. N.; *et al.* A. **A cultura do coqueiro no Brasil** (2ª ed.). Brasília: Embrapa-SPI. 292 p. 129-157. 1998.

TAIZ, L.; ZAIGER, E. **Fisiologia vegetal** (3ª ed.) Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

UEXKULL, H. R. von. Response of coconut to (potassium) chloride in the Philippines. *Oléagineux*, v.27, n.1, p. 13-19, 1972.

VIÉGAS, I. de J. M.; BOTELHO, S. M. Nutrição mineral do dendezeiro. In: VIÉGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A. (Ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 229-273.

WIJEBANDARA, D. M. D. I.; RANASINGHE, C. S. Response of rapid decline affected coconut (*Cocos nucifera* L.) palms to micro-nutrients and common salt. *Cocos* v.16, p. 11- 21, 2004.

**CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DE SUBSTRATOS, CALAGEM, FOSFATAGEM
E ADUBAÇÃO DE COBERTURA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
MACAÚBA**

AVALIAÇÃO DE SUBSTRATOS, CALAGEM, FOSFATAGEM E ADUBAÇÃO DE COBERTURA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MACAÚBA

RESUMO

A palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*) está sendo apontada como cultura estratégica para produção de óleo vegetal no Programa Nacional de Produção e Uso e Biodiesel (PNPB). Contudo, pouco se sabe sobre a produção de mudas desta espécie. O objetivo do trabalho foi avaliar misturas de substratos, doses de calcário e de fósforo na correção do substrato e a frequência de adubação de cobertura em mudas de macaúba, visando estabelecer sistemas de produção com viabilidade de uso em escala comercial. Foram instalados três ensaios na Universidade Federal de Viçosa (UFV), conduzidos em casa de vegetação, até o sexto mês de cultivo na fase de viveiro. O primeiro ensaio consistiu na avaliação de misturas de substratos (percentuais das frações orgânica e mineral) para a produção de mudas, no delineamento inteiramente casualizado (7 misturas de substratos). O segundo ensaio consistiu na avaliação de doses de calcário *versus* doses de fósforo na correção do substrato, num esquema fatorial simples (4 níveis de correção do solo *versus* 4 níveis de fosfatagem). O terceiro ensaio consistiu na avaliação da frequência de fertilização com N, K e Mg em cobertura, durante o desenvolvimento da muda, no delineamento inteiramente casualizado (4 frequências de adubação de cobertura). Em todos os ensaios foram observadas diferenças significativas para maioria das variáveis analisadas (altura de plantas, número de folhas, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, vigor e diâmetro do bulbo). Observou-se melhor desenvolvimento das mudas nos tratamentos com substrato contendo material orgânico e também para aqueles que receberam correção e fertilização de cobertura, indicando que a planta é responsiva a fertilização. Como resultados principais, tem-se: Ensaio 1- o

melhor desenvolvimento das mudas foi observado em substratos com pelo menos 25% de material orgânico em mistura com substrato mineral (50% solo + 25% areia). Ensaio 2 – a correção do substrato com a dose de 0,50 a 1,25 kg de calcário dolomítico associada à fosfatagem com 3,00 a 4,00 kg de superfosfato simples por m³ de substrato apresentaram melhor desenvolvimento das mudas. Ensaio 3 – os tratamentos que receberam adubação de cobertura apresentaram melhor desenvolvimento das mudas. Por outro lado, houve pouca diferença entre a frequência de adubação de cobertura, indicando que uma adubação de cobertura trimestral seria suficiente para produção de mudas com boa qualidade. Entretanto, a adubação de cobertura mensal promoveu maior precocidade das mudas.

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata*, fertilização, desenvolvimento, matéria seca, teor foliar.

EVALUATION OF SUBSTRATES, LIMING, PHOSPHATING AND TOP-DRESSING FOR MACAW PALM SEEDLINGS PRODUCTION

ABSTRACT

The macaw palm (*Acrocomia aculeata*) is being singled out as strategic culture for vegetable oil production in the Brazilian program of biodiesel production and use (Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel - PNPB). However, little is known about the production of seedlings of this species. The objective of this study was to evaluate substrate mixtures, lime and phosphorus in the correction of the substrate and the frequency of top-dressing in macaw palm seedlings, to establish production systems feasible for use on a commercial scale. Three trials were installed at the Federal University of Viçosa (UFV), Minas Gerais state, Brazil, conducted in a greenhouse until the sixth month of cultivation in the nursery. The first test consisted in the evaluation of mixtures of substrates (percentage of organic and mineral fractions) for the production of seedlings, in a completely randomized design (7 substrate). The second test consisted of an evaluation of lime versus phosphorus levels in the correction of the substrate, a simple factorial design (4 correction levels of soil *versus* phosphate levels 4). The third trial was to evaluate the frequency of fertilization with N, K and Mg in coverage during the development of changes in a completely randomized design (4 frequencies top-dressing). In all tests there were significant differences for most variables (plant length, number of leaves, shoot dry mass, root dry mass, force and diameter of the bulb). We observed better growth of seedlings in the treatments with substrate containing organic material and also for those who received correction and top-dressing, indicating that the plant is responsive to fertilization. As a main result, we have: Test 1 - best seedling development was observed in substrates with at least 25% organic material in admixture

with mineral substrate (50% soil+ 25% sandy). Test 2 - correction of the substrate with the rate of 0.50 to 1.25 kg of lime phosphate associated with 3.00 to 4.00 kg of superphosphate per m³ of substrate showed the best growth of seedlings. Test 3 - treatments that received top-dressing showed better seedling development. Moreover, there was little difference between the frequency of top-dressing, indicating that a quarterly top- dressing would be sufficient to produce seedlings with good quality. However, monthly top-dressing promoted greater early seedling.

Keywords: *Acrocomia Aculeata*, fertilization, development, dry matter, leaf content.

INTRODUÇÃO

A macaubeira (*Acrocomia aculeata*) é explorada a milhares de anos pelas populações locais onde ocorrem maciços naturais da espécie (LORENZI, 2006). Nos últimos cinco anos, em função de seu elevado potencial de produção de óleo vegetal, houve acelerado processo de desenvolvimento tecnológico para esta espécie, com intuito de desenvolver sistemas de produção agrícola para subsidiar programas de produção de biodiesel (PIMENTEL *et al*, 2011).

Entretanto, esta planta ainda se encontra em processo de domesticação e apresenta características de plantas silvestres, como elevada dormência nas sementes e crescimento inicial lento. Motoike *et al* (2007) desenvolveram método de germinação com resultados superiores a 80%, viabilizando a produção de sementes pré-germinadas de macaúba. Por outro lado, há pouco conhecimento sobre a produção de mudas para a espécie. Logo, é preciso estabelecer sistemas de produção de mudas, que por sua vez precisam ser avaliados quanto aos aspectos genéticos (material de origem), fitossanitários e nutricionais. Do ponto de vista nutricional, é imprescindível avaliar substratos, necessidade de correção quanto aos níveis de P e Ca, além de doses e frequências de adubações de cobertura para que seja proposto sistema comercial de produção de mudas de macaúba.

De modo geral, a produção de mudas de palmáceas se dá a partir da semente pré-germinada e envolve duas etapas: pré-viveiro, que vai da semente pré-germinada até o primeiro par de folhas lanceoladas (folhas bipartidas) e viveiro, que sucede o pré-viveiro e vai até o segundo par de folhas pinadas (folhas definitivas). A partir desse ponto, quando as mudas apresentam cerca de um ano de idade, pode-se fazer o plantio em nível de campo. Para produção de mudas de palma africana (*Elaeis guineensis*), por

exemplo, utiliza-se como substrato mistura de solo (material mineral) com resíduos do processamento dos frutos (material orgânico) e realiza-se adubação de cobertura mensalmente (MÜLLER, 2000).

Dentre os fatores que proporcionam a produção de mudas de qualidade, podem-se destacar o substrato utilizado e a fertilização, os quais são responsáveis pelo crescimento rápido e boa formação do sistema radicular. Segundo Kämpf (2000), o substrato pode ser constituído de solo mineral ou orgânico ou da mistura de diversos materiais, proporcionando coesão entre as partículas para evitar destorroamento no plantio, porosidade para permitir equilíbrio entre umidade e aeração, ausência de patógenos, isenção de propágulos de plantas daninhas e baixa densidade. Assim, a escolha do material a ser utilizado depende do objetivo, da disponibilidade local e do custo de aquisição.

Pode-se entender que o substrato ideal é aquele que proporciona condições adequadas ao desenvolvimento do sistema radicular, apresentando características químicas, físicas e biológicas desejáveis, além de ser economicamente viável para produção de mudas (WAGNER JÚNIOR *et al*, 2007). Existem diversos tipos de substratos, sejam de origem mineral ou orgânica, ou misturas desses materiais, não existindo um material ou mistura de materiais considerados universalmente válidos para todas as espécies (ABAD, 1991).

Logo, a avaliação de substratos e sistemas de fertilização é etapa fundamental na produção de mudas de qualquer espécie vegetal. O solo, areia ou a mistura destes é muito utilizada na produção comercial de mudas por serem de baixo custo e de fácil disponibilidade. Porém, substratos contendo apenas materiais minerais podem apresentar características físico-químicas limitantes ao desenvolvimento pleno da muda, como alta densidade e baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Neste sentido, a produção de mudas de qualidade é obtida com algum tipo de substrato orgânico em mistura com substratos minerais.

Quanto à fertilização e correção dos substratos, Ribeiro (1999) recomenda elevadas doses de corretivos e fertilizantes, o que pode ser justificado pelo alto valor agregado dos produtos hortícolas (mudas, flores e olerícolas). Entretanto, para espécies florestais, as quais apresentam baixo valor agregado e são demandadas em grandes quantidades, é imprescindível otimizar o uso de insumos e o manejo para reduzir custos e viabilizar a produção comercial.

Objetivou-se neste trabalho avaliar misturas de substratos (percentuais das frações orgânica e mineral), doses de calcário e fósforo na correção do substrato e a frequência de adubação de cobertura para produção de mudas de macaúba.

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos foram realizados no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foram instalados três ensaios, conduzidos em casa de vegetação, até o sexto mês de cultivo na fase de viveiro.

As mudas foram preparadas a partir sementes coletadas em diferentes regiões de Minas Gerais. As sementes foram pré-germinadas segundo protocolo desenvolvido Motoike *et al* (2007). Após o processo de germinação, as sementes pré-germinadas foram transplantadas para tubetes com 180 cm³ de volume, com substrato comercial Plantmax[®], enriquecido com superfosfato simples na proporção de 2 kg/m³ de substrato. Após três meses de pré-viveiro (fase em que a muda utiliza principalmente as reservas do endosperma), as plântulas com pelo menos um par de folhas lanceoladas foram transplantadas para sacolas plásticas com volume de 4,4 litros (dimensões da sacola cheia de substrato: 15 cm de diâmetro x 25 cm de altura), quando foram aplicados os tratamentos (fase de viveiro), conforme descrito nos subitens abaixo.

Os corretivos e fertilizantes comerciais utilizados no experimento foram: calcário dolomítico (PRNT 80%), superfosfato simples, sulfato de amônio, uréia, cloreto de potássio e sulfato de magnésio, contendo 30% de CaO + 12% de MgO, 18% de P₂O₅, 20% de N, 45% de N, 58% de K₂O e 10% de Mg + 13% de S, respectivamente.

O referencial para correção e adubação do substrato utilizado nos três ensaios foi obtido em três fontes principais: recomendação de adubação de substratos e calagem proposta por Álvarez V. e Ribeiro (1999), produção de mudas de dendezeiro (MÜLLER, 2000) e em resultados de ensaios preliminares à montagem deste experimento.

Ensaio 1: avaliação de misturas de substratos

O ensaio foi montado em 31/05/08 e foi avaliado em 18/12/08, totalizando 6,5 meses de viveiro. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: T1 = solo (testemunha); T2 = solo + areia (1:1, v/v); T3 = solo + areia (2:1, v/v); T4 = solo + areia + esterco bovino (1:1:1, v/v); T5 = solo + areia + esterco bovino (2:1:1, v/v); T6 = solo + areia + Plantmax[®] (1:1:1, v/v); T7 = solo + areia + Plantmax[®] (2:1:1, v/v). As características físico-químicas dos substratos utilizados podem ser visualizadas na Tabela 1, abaixo. Todas as misturas de substratos foram corrigidas utilizando-se 1 kg de calcário dolomítico e 4 kg de superfosfato simples por m³. A fertilização utilizada no substrato foi de 1 kg de sulfato de amônio e 0,5 kg de cloreto de potássio por m³ de substrato.

Tabela 1: Características químicas de sete misturas de substratos organo-minerais, corrigidas com calcário dolomítico e fertilizadas com sulfato de amônio e cloreto de potássio, utilizadas para produção de mudas de macaúba.

Substratos	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	MO	Prem
	(H ₂ O)	..(mg/dm ³)..		.....cmol _c /dm ³.....							.....%.....			(mg/L)
Solo puro*	5,4	4	41	0,8	0,1	0,4	8,3	1,0	1,4	9,3	11	28,5	2,7	9,8
T1 (solo/testemunha)	5,1	153	75	1,3	0,4	0,1	9,1	1,8	1,9	10,9	17	5,2	2,9	19,0
T2 (solo+areia. 1:1)	5,1	127	44	3,8	0,3	0,0	5,9	4,2	4,2	10,1	41	0,0	1,0	36,5
T3 (solo+areia. 2:1)	5,1	115	55	4,5	0,3	0,0	7,2	4,9	4,9	12,1	41	0,0	2,0	26,0
T4 (solo+areia+est.1:1:1)	5,9	246	694	4,9	3,0	0,0	5,9	9,7	9,7	15,6	62	0,0	5,9	39,6
T5 (solo+areia+est..2:1:1)	5,6	213	493	5,4	2,4	0,0	7,5	9,0	9,0	16,5	55	0,0	5,5	38,6
T6 (solo+areia+plan.1:1:1)	5,1	112	169	5,3	2,2	0,0	8,4	7,9	7,9	16,3	49	0,0	5,9	36,9
T7 (solo+areia+plan.2:1:1)	5,1	112	153	1,3	1,7	0,0	8,3	3,3	3,3	11,6	29	0,0	5,5	27,9

Dados:

*Solo puro = solo sem adubação e correção utilizado no preparo das misturas de substrato organo-minerais.

pH em água

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0

SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

V = Índice de Saturação de Bases

m = Índice de Saturação de Alumínio

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N

P-rem = Fósforo Remanescente

Durante a condução do experimento, foram realizadas três adubações de cobertura em todos os tratamentos, como segue: a primeira aos 60 dias após a aplicação dos tratamentos, a segunda aos 90 dias e a terceira aos 150 dias. A adubação por muda

foi de: 1 g de uréia, 0,5 g de cloreto de potássio e 0,5 g de sulfato de magnésio por aplicação.

Após a emissão do primeiro par de folhas compostas (folha pinada característica das palmáceas), o que ocorre por volta do sexto mês em condições de viveiro, as mudas foram avaliadas quanto às seguintes características fitotécnicas: comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, diâmetro do coleto, número de folhas lanceoladas (bipartidas), número de folhas compostas (definitivas), vigor (medido por escala de notas variando de 1 a 5), massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca da raiz.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias de tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006).

Ensaio 2: avaliação de doses de calcário e fósforo no substrato

O ensaio foi montado em 31/05/08 e foi avaliado em 18/12/08, totalizando 6,5 meses de viveiro. Utilizou-se o esquema fatorial, no delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo quatro doses de calcário (fator 1) e quatro doses de fósforo (fator 2), com quatro repetições (blocos) e quatro plantas por parcela.

A dose referencial de calcário foi calculada segundo Método da Neutralização do Alumínio Trocável e da elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (ÁLVAREZ V. e RIBEIRO, 1999), levando em consideração valores médios de saturação de alumínio (m%) e soma de bases trocáveis (Ca e Mg) encontrados por Motta *et al* (2002) nos locais de ocorrência natural de macaúba no estado de Minas Gerais. Assim, considerando apenas as características físico-químicas do solo utilizado no preparo dos substratos (Tabela 2), a necessidade de calagem (NC em t/ha) foi calculada da seguinte forma:

$$\text{NC}_{(\text{ton/ha})} = Y[\text{Al}^{3+} - (m \times t / 100)] + [X - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]; \text{utilizando } Y=3; m=20\%; X=3$$

Em que:

Y = coeficiente dado em função da capacidade tampão do solo (teor de argila ou Prem);

Al^{3+} = acidez trocável em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$;

m = máxima saturação por Al^{3+} tolerada para cultura;

t = CTC efetiva, em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$;

X = Valor esperado para soma de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$.

Logo, a NC calculada para o solo referencial foi de 2,46 ton/ha. Considerando que o calcário utilizado apresentava PRNT = 80%, a quantidade de calcário (QC em ton/ha) a ser aplicada seria de aproximadamente três toneladas, o que equivale a 1,5 kg de calcário por m^3 de substrato. Esta foi a dose máxima considerada nos tratamentos (calagem completa).

Para o fósforo, a dose referencial foi baseada em Ribeiro (1999), que recomenda doses em torno de 1 kg de P_2O_5 por m^3 de substrato (cerca de 5 kg de superfosfato simples). Porém, nesse ensaio, adotou-se dose máxima de 4 kg de superfosfato simples pelo fato de se misturar areia (baixa capacidade de retenção de fósforo) nos tratamentos.

O substrato utilizado consistiu na mistura de solo, areia e esterco bovino, na proporção de 2:1:1, v/v. A correção foi realizada segundo quadro 1 acima e o solo utilizado está caracterizado na tabela 2, abaixo. Todas as misturas de substratos foram fertilizadas com 1 kg de sulfato de amônio e 0,5 kg de cloreto de potássio por m³ de substrato. Durante a condução do experimento, foram realizadas três adubações de cobertura em todos os tratamentos, como segue: a primeira aos 60 dias após a indução dos tratamentos, a segunda aos 90 dias e a terceira aos 150 dias. A adubação por muda foi de: 1 g de uréia, 0,5 g de cloreto de potássio e 0,5 g de sulfato de magnésio por aplicação.

Tabela 2: Características químicas do solo utilizado na composição do substrato, utilizado para produção de mudas de macaúba em função de doses de calcário e fósforo.

Substratos	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	MO	Prem
	(H ₂ O)	..(mg/dm ³)..			.....cmol _c /dm ³.....						.....%.....			(mg/L)
Solo puro*	5,4	4	41	0,8	0,1	0,4	8,3	1,0	1,4	9,3	11	28,5	2,7	9,8

Dados:

*Solo puro = solo sem adubação e correção utilizado no preparo das misturas de substrato organo-minerais.

pH em água

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0

SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

V = Índice de Saturação de Bases

m = Índice de Saturação de Alumínio

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N

P-rem = Fósforo Remanescente

Após a emissão do primeiro par de folhas compostas as mudas foram avaliadas quanto as seguintes características fitotécnicas: comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, diâmetro do coleto, número de folhas lanceoladas (bipartidas), número de folhas compostas (definitivas), vigor (medido por escala de notas variando de 1 a 5), massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca da raiz.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. As variáveis com interação significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F foram submetidas à regressão linear múltipla a fim de obter uma superfície de resposta para a interação dose de calcário *versus* dose de fósforo. Foi utilizado o aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006) para análise estatística dos dados. Os gráficos com as superfícies de resposta foram gerados no aplicativo computacional StatSoft (2007).

Ensaio 3: avaliação da frequência de adubação de cobertura com N, K e Mg

O ensaio foi montado em 01/09/08 e avaliado em 02/05/09, totalizando 8 meses de viveiro. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e dez repetições. Os tratamentos foram: T1 = sem adubação de cobertura (testemunha); T2 = adubação de cobertura trimestral (3º e 6º mês); T3 = adubação de cobertura bimestral (2º, 4º e 6º mês); T4 = adubação de cobertura mensal (1º, 2º, 3º, 4º, 5º e 6º mês).

A adubação de cobertura utilizada nos tratamentos foi aplicada individualmente por via úmida, a qual era composta de 100 mL de solução contendo 1 g de uréia, 0,5 g de cloreto de potássio e 0,5 g de sulfato de magnésio por muda em cada aplicação.

O substrato utilizado no preparo das mudas consistiu na mistura de solo, areia e esterco bovino, na proporção de 2:1:1, v/v, o qual foi corrigido utilizando-se 1 kg de calcário dolomítico e 4 kg de superfosfato simples por m³ de substrato. Todas as misturas de substratos foram fertilizadas com 1 kg de sulfato de amônio e 0,5 kg de cloreto de potássio por m³ de substrato equivalente.

Após a emissão do primeiro par de folhas definitivas, as mudas foram avaliadas quanto as seguintes características fitotécnicas: altura da parte aérea, número de folhas lanceoladas (bipartidas), número de folhas compostas (definitiva), vigor (medido por escala de notas variando de 1 a 5), massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca da raiz.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias de tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio 1: avaliação de misturas de substratos

As mudas cultivadas nos substratos compostos de misturas organo-minerais apresentaram maior altura, maior massa de matéria seca da parte aérea e das raízes quando comparadas às mudas cultivadas em substratos minerais (misturas de solo + areia) (Tabela 3). Hartmann *et al* (1990), atribuíram o efeito benéfico das misturas de materiais orgânicos na produção de mudas à melhoria da textura, favorecendo o desenvolvimento radicular. De acordo com a análise química dos substratos utilizados (Tabela 1), observa-se que todos os tratamentos apresentavam alto nível de fertilidade, tendo como referência a interpretação de resultados de análises de solo sugerida por Álvarez V. *et al* (1999). Por outro lado, os fatores com maior discrepância entre os substratos minerais (T1, T2 e T3) e os substratos organo-minerais (T4, T5, T6 e T7) foram os teores de K, Mg e o percentual de matéria orgânica, os quais apresentaram valores cerca de três vezes maiores nos substratos organo-minerais. Motta *et al* (2002) encontraram elevados teores de matéria orgânica e potássio nos solos com ocorrência natural de macaúba, o que pode caracterizar elevada exigência da cultura para estes dois fatores.

Tabela 3: Médias de número de folhas pinadas (NFP), número de folhas lanceoladas (NFL), comprimento da parte aérea (CPA); comprimento da raiz (CRA), diâmetro do coleto (DCO), massa de matéria seca da parte aérea (MSP); massa de matéria seca da raiz (MSR) e vigor (VIG) em mudas de macaúba submetidas aos diferentes tratamentos.

Tratamentos	NFP ¹ (und.)	NFL ² (und.)	CPA (cm)	CRA (cm)	DCO (mm)	MSP (g)	MSR (g)	VIG ³ (1 a 5)
T1-solo puro/test.	0,25 (1,10)a	4,25 (2,28)a	27,25c	30,25a	9,00a	2,50bc	2,88c	3,75 (2,16)a
T2-solo/areia 1:1	0,00 (1,00)a	4,75 (2,38)a	24,37c	31,75a	9,25a	1,69c	1,94c	3,00 (1,99)a
T3-solo/areia 2:1	0,00 (1,00)a	5,60 (2,55)a	28,12c	42,50a	10,12a	2,47bc	3,43c	3,25 (2,04)a
T4-solo/areia/est.1:1:1	1,00 (1,36)a	5,50 (2,55)a	32,00bc	45,50a	11,00a	4,19ab	3,56c	3,50 (2,12)a
T5-solo/areia/est.2:1:1	1,50 (1,57)a	5,00 (2,44)a	45,50ab	48,75a	11,25a	4,96ab	9,46ab	5,00 (2,45)a
T6-solo/areia/plan.1:1:1	1,50 (1,54)a	4,75 (2,39)a	36,25abc	40,00a	12,75a	3,99abc	5,15bc	4,25 (2,28)a
T7-solo/areia/plan.2:1:1	1,25 (1,46)a	6,00 (2,64)a	49,50a	47,25a	13,37a	6,04a	11,67a	5,00 (2,45)a
DMS Tukey (5%)	0,62	0,42	15,05	23,22	6,51	2,90	4,78	0,47
Média Geral	0,78 (1,29)	5,10 (2,46)	34,71	40,85	10,96	3,78	5,44	3,96 (2,21)
CV(%)	20,80	7,48	18,86	24,72	25,84	33,31	38,23	9,21

^{1, 2 e 3} Valores entre parêntesis foram transformados para seguir distribuição normal segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram observados por outros autores. Martins Filho *et al* (2007), estudando misturas utilizadas na composição de substratos em viveiros comerciais de palmáceas, observaram que existe resposta diferenciada entre espécies de palmeiras quanto ao tipo de composto orgânico utilizado. Entretanto, a mistura de solo, areia e esterco bovino foi superior às demais para as duas espécies envolvidas no experimento, indicando que o esterco bovino como fonte orgânica é adequado para produção de mudas de palmeiras.

Em fruteiras, de modo geral, observa-se a mesma tendência. Wagner Júnior *et al* (2006; 2007), estudando substratos para formação de mudas de fruteiras, encontraram melhores resultados para misturas de solo com substratos comerciais, evidenciando que a mescla de materiais minerais e orgânicos são adequadas na produção de mudas.

Por outro lado, neste trabalho não foi observado efeito significativo da proporção de substrato orgânico na mistura e nem da fonte (esterco bovino ou Plantmax[®]), conforme observado na Tabela 3. Assim, acredita-se que 25% de substrato orgânico seja suficiente para produzir mudas de macaúba com boa qualidade.

Entretanto, é preciso considerar que o esterco bovino apesar de ser um material de fácil aquisição e de baixo preço, tem como desvantagem a contaminação com sementes de plantas daninhas, o que pode trazer problemas em viveiros comerciais. Contudo, neste trabalho foram avaliadas apenas as características fitotécnicas das mudas relacionadas á qualidade e ao desenvolvimento.

Ensaio 2: avaliação de doses de calcário e fósforo no substrato

Verificou-se baixa resposta das mudas à correção dos substratos com Ca e P, uma vez que a matéria seca da parte aérea não foi influenciada pelos tratamentos. A matéria seca da raiz foi influenciada apenas pela dose de fósforo. Para esta característica, houve elevada variabilidade dos dados (coeficiente de variação 45%) o que dificultou o ajuste de um modelo matemático preciso. Entretanto, percebe-se uma tendência de redução na matéria seca da raiz em função do aumento da dose de fósforo (Figura 1). Segundo Marschner (1995), plantas com baixo suprimento de fósforo tendem a apresentar maior relação raiz/parte aérea do que plantas com suprimento adequado. Neste experimento, as plantas com baixo suprimento de fósforo apresentaram maior massa de matéria seca de raiz, indicando que houve alteração na partição de fotoassimilados das plantas como forma de compensar a falta do nutriente com maior número de raízes.

Para as variáveis número de folhas pinadas, número de folhas lanceoladas, comprimento da parte aérea e vigor observou-se interação significativa entre as doses de calcário e de fósforo. Neste caso, a interação foi estudada por meio de superfícies de resposta, porém, não foram encontrados modelos matemáticos que se ajustassem perfeitamente aos dados (Figura 2). Teixeira e Macedo (2011) estudando o efeito da calagem e fosfatagem na produção de mudas de biribá (*Rollinia mucosa*), também encontraram baixo nível de resposta à correção do substrato. Provavelmente, para espécies silvestres tropicais, as quais se desenvolveram em solos ácidos e com baixo teor de Ca e P, a resposta inicial a correção do substrato seja pequena.

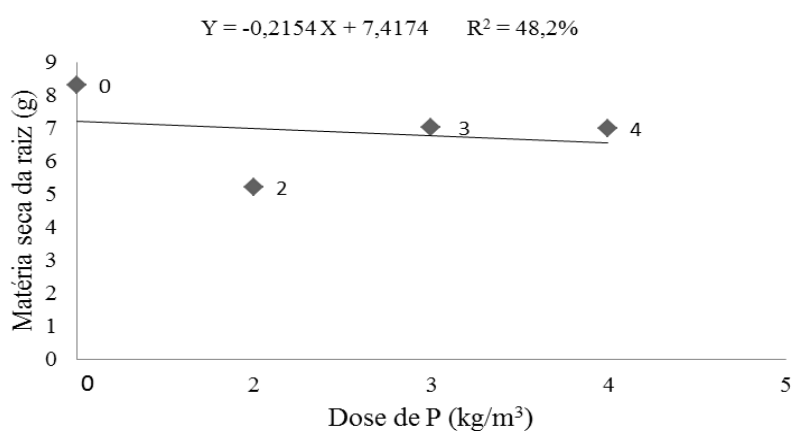


Figura 1: Acúmulo de matéria seca nas raízes de mudas de macaúba em função de quatro doses de fósforo no substrato.

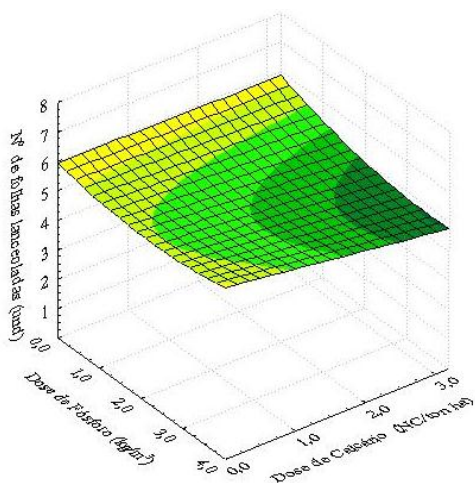


Fig 2.1: Numero de folhas lanceoladas

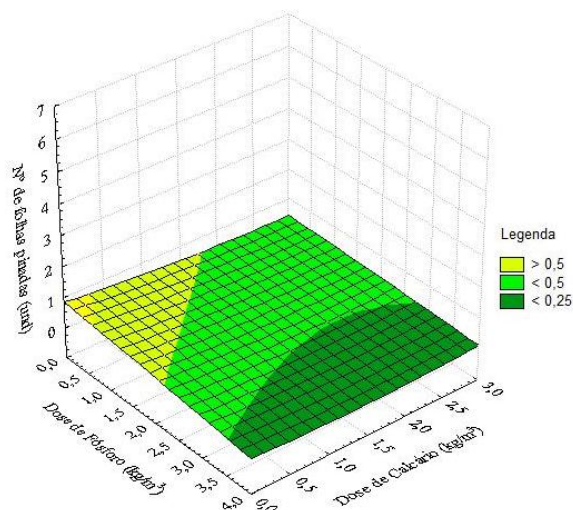


Fig 2.2: Número de folhas pinadas

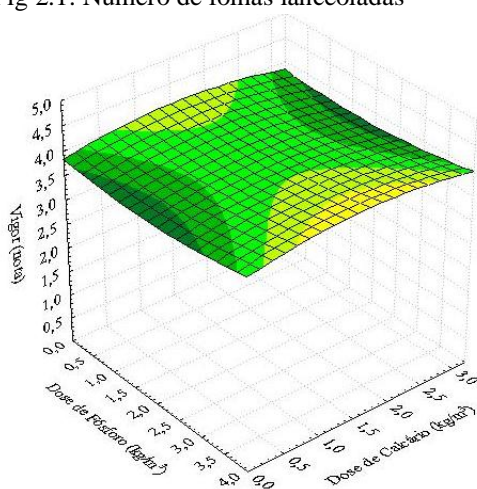


Fig 2.3: Vigor (escala de notas de 1 a 5)

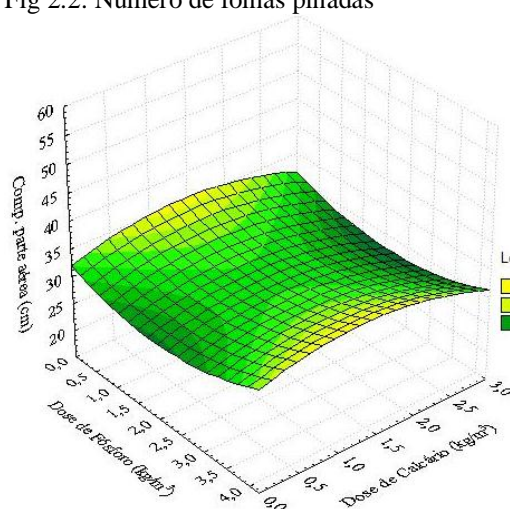


Fig 2.4: Comprimento da parte aérea

Figura 2: Superfície de resposta de quatro características avaliadas em mudas de macaúba em função de diferentes doses de calcário e fósforo no substrato.

Dados: X=calcário e Y=Fósforo

2.1: $Z = 2,62837 - 0,0049X - 0,07475Y + 0,01801Y^2 - 0,0151XY$; $R^2 = 18,24\%$; sig. 2%.

2.2: $Z = 1,27765 - 0,04035X - 0,05845Y + 0,01148XY$; $R^2 = 5,65\%$; sig. 32%.

2.3: $Z = 2,18736 + 0,06395X - 0,02X^2 - 0,0336Y + 0,01058Y^2 + 0,00188XY$; $R^2 = 3,28\%$; sig. 89%.

2.4: $Z = 32,058 + 4,79264X - 1,66625X^2 - 3,49982Y + 0,91542Y^2 - 0,12566XY$; $R^2 = 7,84\%$; sig. 84%.

De modo geral, observaram-se melhores respostas para doses intermediárias de calcário e altas de fósforo. Segundo Novais *et al* (2007), a adsorção do fósforo pelos oxidróxidos de ferro e alumínio está diretamente ligada ao pH do solo. Quando se corrige o pH do solo por meio da calagem, espera-se menor adsorção de P e consequentemente maior labilidade (disponibilidade) desse nutriente para a planta. Por outro lado, doses elevadas de calcário podem ter efeito antagônico, uma vez que o P se liga ao Ca, formando fosfato de cálcio, que apresenta baixa solubilidade e precipita na

solução do solo. Assim, é importante encontrar um equilíbrio entre doses de fósforo e calcário para maximizar a produção e otimizar o uso destes insumos.

Para a variável número de folhas lanceoladas, a interação dose de calcário *versus* dose de fósforo apresentou o melhor resultado (menor valor) para a faixa que compreende a NC de 2,0 a 3,0 ton/ha (1 a 1,5 kg de calcário/m³ de substrato) e dose de fósforo variando de 2,0 a 4,0 kg/m³ de substrato (Figura 2).

Para a variável número de folhas pinadas, a interação dose de calcário *versus* dose de fósforo apresentou o melhor resultado (maior valor) para a faixa que compreende a NC de 0,0 a 1,5 ton/ha (0 a 0,75 kg de calcário/m³ de substrato) e dose de fósforo variando de 0,0 a 1,5 kg/m³ de substrato (Figura 2).

Para a variável vigor, a interação dose de calcário *versus* dose de fósforo apresentou o melhor resultado, ou seja, maior vigor, para a faixa que compreende a NC de 1,0 a 3,0 ton/ha (0,5 a 1,5 kg de calcário/m³ de substrato) e dose de fósforo variando de 2,5 a 4,0 kg/m³ de substrato (Figura 2).

Para a variável comprimento da parte aérea, a interação dose de calcário *versus* dose de fósforo apresentou o melhor resultado, ou seja, maior altura de plantas, para a faixa que compreende a NC de 1,0 a 2,5 ton/ha (0,5 a 1,25 kg de calcário/m³ de substrato) e dose de fósforo variando de 3,0 a 4,0 kg/m³ de substrato (Figura 2).

Diante da ampla faixa de resposta obtida pelos tratamentos (Figuras 1 e 2), plotou-se um quadro para verificar a interseção entre as melhores doses de calcário combinada às melhores doses de fósforo (Tabela 4). Assim, pode-se inferir que o melhor desenvolvimento das mudas ocorre quando o substrato é corrigido para NC variando de 1,0 a 2,5 ton de calcário por ha equivalente (0,50 a 1,25 kg de calcário/m³ de substrato) combinada à dose de fósforo de 3,0 a 4,0 kg de superfosfato simples por m³ de substrato. Esta faixa de correção do substrato proporcionou melhores indicadores de desenvolvimento das mudas para a maioria das características avaliadas.

Tabela 4: Faixa de interseção para as melhores doses de calcário e fósforo em mudas de macaúba.

Variável	Dose de calcário (NC/ton calcário por ha equivalente)							Dose de fósforo (Kg superfosfato simples/m ³ de substrato)								
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
NFL																
NFP																
VIG																
CPA																
MSR																
INT																

Dados: NFL= Número de folhas lanceoladas (bipartidas); NFP= Número de folhas penadas (definitivas); VIG= Vigor (medido por escala de notas variando de 1 a 5); CPA = Comprimento da parte aérea; MSR= Massa seca da raiz; INT= ponto de interseção das doses com melhor resposta para maioria das variáveis estudadas.

Células grifada em cinza correspondem à faixa de melhor resposta das mudas para as variáveis analisadas em função das doses de Ca e P.

Em relação aos teores dos nutrientes minerais (concentração) na parte aérea e nas raízes das mudas de macaúba, observou-se pouca variação em função dos tratamentos adotados (dose de Ca x P), conforme observado nas tabelas 5 e 6. Entretanto, as médias dos teores de nutrientes minerais na matéria seca das mudas podem servir de referência para avaliação do *status* nutricional de mudas em viveiros comerciais.

Tabela 5: Teores de nutrientes minerais na parte aérea de mudas de macaúba (folhas).

Tratamentos:	Doses de Calcário	Doses de Fósforo	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Zn	Fe	Mn	Cu	B
			-----dag/kg-----							-----mg/kg-----				
T1	DC 1	DP 1	3,30	0,24	2,08	1,24	0,42	0,22	1,40	21,00	151,00	87,00	3,00	87,40
T2	DC 1	DP 2	3,39	0,22	2,12	1,27	0,38	0,21	1,50	22,00	257,00	98,00	3,00	66,30
T3	DC 1	DP 3	3,60	0,22	2,00	1,60	0,43	0,22	1,90	18,00	267,00	143,00	3,00	50,70
T4	DC 1	DP 4	3,17	0,22	2,40	1,70	0,41	0,19	1,50	17,00	238,00	118,00	2,00	59,10
T5	DC 2	DP 1	3,26	0,22	1,88	1,58	0,55	0,20	1,90	21,00	305,00	99,00	3,00	68,90
T6	DC 2	DP 2	3,42	0,21	2,00	1,38	0,41	0,19	1,50	16,00	315,00	106,00	2,00	68,90
T7	DC 2	DP 3	3,08	0,22	1,84	1,84	0,44	0,25	1,10	18,00	276,00	126,00	3,00	71,70
T8	DC 2	DP 4	3,42	0,22	2,24	1,67	0,41	0,25	1,20	21,00	296,00	123,00	3,00	71,70
T9	DC 3	DP 1	3,08	0,22	1,88	1,43	0,46	0,26	1,10	21,00	238,00	87,00	4,00	68,90
T10	DC 3	DP 2	2,93	0,23	1,96	1,27	0,45	0,21	1,50	24,00	248,00	76,00	4,00	50,70
T11	DC 3	DP 3	2,68	0,22	1,80	1,55	0,40	0,25	1,10	21,00	257,00	111,00	3,00	63,80
T12	DC 3	DP 4	3,36	0,21	2,12	1,29	0,35	0,25	1,10	18,00	190,00	74,00	2,00	59,10
T13	DC 4	DP 1	2,99	0,24	2,20	1,68	0,57	0,28	1,60	22,00	517,00	60,00	4,00	56,90
T14	DC 4	DP 2	3,42	0,25	2,08	1,54	0,46	0,28	1,50	22,00	507,00	82,00	5,00	59,10
T15	DC 4	DP 3	3,26	0,19	1,92	1,48	0,42	0,15	1,40	17,00	276,00	84,00	2,00	83,90
T16	DC 4	DP 4	3,26	0,21	2,12	1,32	0,41	0,22	1,30	18,00	392,00	87,00	2,00	66,30
Valores médios de todos tratamentos:			3,23	0,22	2,04	1,49	0,44	0,23	1,41	19,81	295,63	97,56	3,00	65,84

Dados:

DC 1 = 0 kg de calcário/m³ de substrato (sem correção no substrato)

DC 2 = 0,5 kg de calcário/m³ de substrato (equivale a correção com 1 ton de calcário por ha)

DC 3 = 1,0 kg de calcário/m³ de substrato (equivale a correção com 2 ton de calcário por ha)

DC 4 = 1,5 kg de calcário/m³ de substrato (equivale a correção com 3 ton de calcário por ha)

DP 1 = 0 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

DP 2 = 1 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

DP 3 = 2 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

DP 4 = 4 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

Tabela 6: Teores de nutrientes minerais nas raízes + bulbos de mudas de macaúba.

Tratamentos:	Doses de Calcário	Doses de Fósforo	-----dag/kg-----							-----mg/kg-----					
			N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Zn	Fe	Mn	Cu	B	
T1	DC 1	DP 1	2,22	0,17	2,68	0,44	0,69	0,25	1,40	41,00	1.429,00	37,00	15,00	63,80	
T2	DC 1	DP 2	2,03	0,22	2,84	0,43	0,62	0,27	1,60	40,00	2.198,00	34,00	16,00	48,70	
T3	DC 1	DP 3	2,16	0,17	2,20	0,46	0,64	0,26	1,70	58,00	2.967,00	45,00	12,00	48,70	
T4	DC 1	DP 4	2,25	0,17	1,84	0,44	0,60	0,30	1,30	39,00	3.447,00	38,00	9,00	59,10	
T5	DC 2	DP 1	2,19	0,29	2,68	0,41	0,72	0,28	1,70	54,00	1.174,00	53,00	46,00	50,70	
T6	DC 2	DP 2	2,25	0,14	2,16	0,39	0,67	0,28	1,50	45,00	3.351,00	56,00	15,00	52,70	
T7	DC 2	DP 3	2,34	0,20	2,08	0,41	0,65	0,16	1,40	58,00	1.814,00	30,00	16,00	43,30	
T8	DC 2	DP 4	1,57	0,13	2,00	0,46	0,59	0,26	1,30	57,00	3.640,00	43,00	13,00	39,90	
T9	DC 3	DP 1	1,85	0,14	1,84	0,41	0,61	0,27	1,20	53,00	3.544,00	38,00	25,00	33,60	
T10	DC 3	DP 2	1,54	0,13	1,96	0,50	0,69	0,30	1,30	46,00	3.640,00	43,00	43,00	48,70	
T11	DC 3	DP 3	1,76	0,17	2,00	0,44	0,62	0,33	1,50	40,00	3.447,00	34,00	20,00	99,30	
T12	DC 3	DP 4	1,54	0,15	2,48	0,48	0,61	0,29	1,50	47,00	2.487,00	27,00	13,00	43,30	
T13	DC 4	DP 1	1,66	0,14	2,04	0,48	0,68	0,25	1,50	45,00	3.736,00	33,00	36,00	46,90	
T14	DC 4	DP 2	1,60	0,17	2,52	0,45	0,69	0,31	1,50	46,00	2.775,00	45,00	50,00	54,80	
T15	DC 4	DP 3	1,60	0,12	2,20	0,49	0,66	0,36	1,30	41,00	4.601,00	64,00	14,00	50,70	
T16	DC 4	DP 4	1,42	0,13	2,16	0,60	0,66	0,37	1,50	36,00	3.928,00	41,00	10,00	41,50	
Valores médios de todos tratamentos:			1,87	0,17	2,23	0,46	0,65	0,28	1,45	46,63	3.011,13	41,31	22,06	51,61	

Dados:

DC 1 = 0 kg de calcário/m³ de substrato (sem correção no substrato)

DC 2 = 0,5 kg de calcário/m³ de substrato (equivale a correção com 1 ton de calcário por ha)

DC 3 = 1,0 kg de calcário/m³ de substrato (equivale a correção com 2 ton de calcário por ha)

DC 4 = 1,5 kg de calcário/m³ de substrato (equivale a correção com 3 ton de calcário por ha)

DP 1 = 0 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

DP 2 = 1 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

DP 3 = 2 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

DP 4 = 4 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

Ensaio 3: avaliação da frequência de adubação de cobertura com N, K e Mg

Observou-se resposta positiva das mudas em todos os tratamentos com adubação de cobertura (T2, T3 e T4), quando comparado com o controle (T1 – sem adubação de cobertura), na fase de viveiro (Tabela 7). Quando comparadas as frequências de adubação mensal, bimestral e trimestral observou-se que não houve diferença significativa para as variáveis matéria seca da parte aérea e vigor da planta, pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, indicando que adubações trimestrais seriam suficientes para produzir mudas de macaúba com qualidade.

Tabela 7: Médias do nº de folhas pinadas (NFP), nº de folhas lanceoladas (NFL), comprimento da parte aérea (CPA); massa de matéria seca da parte aérea (MSP); massa de matéria seca da raiz (MSR) e vigor (VIG) em mudas de macaúba sob diferentes frequências de adubação de cobertura.

Tratamentos	NFP ¹ (und.)	NFL ² (und.)	CPA (cm)	MSP (g)	MSR (g)	VIG ³ (1 a 5)
T1 (sem adub. cobertura)	2,00 (1,72)a	3,40 (2,09)ab	46,60c	14,56b	16,70a	4,20 (2,28)b
T2 (adub. cob. trimestral)	2,10 (1,75)a	3,30 (2,07)ab	60,30ab	17,99ab	19,03a	4,50 (2,34)ab
T3 (adub. cob. bimestral)	1,80 (1,66)a	4,00 (2,23)a	53,50bc	17,87ab	18,67a	4,60 (2,37)ab
T4 (adub. cob. mensal)	2,20 (1,78)a	2,60 (1,88)b	66,90a	21,47a	23,40a	4,90 (2,43)a
DMS Tukey (5%)	0,24	0,25	9,27	6,00	7,95	0,15
Média Geral	2,02 (1,72)	3,32 (2,07)	56,82	17,97	19,45	4,55 (2,35)
CV(%)	11,38	10,22	13,53	27,74	33,93	5,17

^{1, 2 e 3} Valores entre parêntesis foram transformados para seguir distribuição normal segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para as variáveis comprimento da parte aérea e número de folhas lanceoladas, as melhores respostas foram obtidas para as adubações mensais e trimestrais, seguida pela adubação bimestral e sem adubação de cobertura, nesta ordem (Figura 3). É importante observar que o número de folhas lanceoladas (bipartidas) é uma característica correlacionada negativamente ao desenvolvimento da muda. Quanto maior o número de folhas bipartidas, mais inicial é o estágio de desenvolvimento da muda. Por outro lado, o maior número de folhas pinadas (definitivas) estaria correlacionado ao estágio mais avançado de desenvolvimento da muda. Assim, observa-se que os tratamentos 1, 2 e 3, apresentaram maior número de folhas bipartidas indicando estágio de desenvolvimento mais inicial da planta quando comparado ao tratamento 4 (adubação de cobertura mensal).



3.1 Mudás aos 8 meses de idade. Da esquerda para direita: T1 (sem cobertura); T2 (cobertura trimestral); T3 (cobertura bimestral) e T4 (cobertura mensal).



3.2 Mudás aos 8 meses de idade com desenvolvimento pleno.



3.3 Bulbo e raízes de mudas aos 8 meses de idade com desenvolvimento pleno.

Figura 3: Desenvolvimento de mudas de macaúba em função da frequência de adubação de cobertura.

É importante considerar que a produção de mudas de macaúba está sendo norteadada pela produção comercial de mudas de dendê (*Elaeis guineensis*). Segundo Müller (2000), a adubação no dendezeiro inicia-se 30 dias após a repicagem das mudas, com soluções aquosas de NPK+Mg. Aos 60 dias, ainda na fase de pré-viveiro, realizam-se coberturas quinzenais para fornecer aproximadamente 0,1 g de uréia, 0,1 g de superfosfato triplo, 0,02 g de cloreto de potássio e 0,02 g de sulfato de magnésio por muda. Já na fase de viveiro, realizam-se adubações mensais com 10 g de NPK + Mg, na proporção 12:17:10+3, por muda.

Entretanto, algumas diferenças entre o sistema de produção de mudas de macaúba e de dendezeiro devem ser observadas. No caso do dendê, as mudas são propagadas em sacolas com cerca de 20 L de volume, contendo basicamente “terriço com bucha”⁴. Além disso, as mudas só são levadas a campo com avançado estágio de desenvolvimento, visto que a planta apresenta elevada sensibilidade ao déficit hídrico na fase juvenil. Por outro lado, a produção de mudas de macaúba está sendo desenvolvida em recipientes menores (5 L), uma vez que essa planta apresenta maior rusticidade e

⁴Na Amazônia, onde se cultiva dendê em larga escala, é comum utilizar o horizonte O (orgânico) do solo misturado com resíduos de processamento do cacho para compor os substratos das mudas.

tolerância ao déficit hídrico. Assim, a necessidade de fertilização também poderá ser diminuída o que reduz a demanda de insumos e manejo nos viveiros, resultando num processo mais econômico na produção das mudas.

Esta hipótese foi confirmada nesse experimento, visto que a adubação de cobertura trimestral foi suficiente para produzir mudas com boa qualidade. Entretanto, as mudas com adubação de cobertura mensal apresentaram maior precocidade.

CONCLUSÕES

Ensaio 1: quanto aos substratos

1. O tipo de substrato teve efeito no desenvolvimento das mudas de macaúba;
2. Os substratos organo-minerais (solo+areia+esterco ou Plantmax[®]) quando comparadas aos minerais (solo puro ou solo+areia) apresentaram melhores resultados (altura de plantas, massa de matéria seca da parte aérea e da raiz);
3. A proporção de 25% de material orgânico na composição do substrato (mistura de solo+areia+esterco ou Plantmax[®] nas proporções 2:1:1, v/v, respectivamente) foi adequada para produzir mudas de macaúba com boa qualidade.

Ensaio 2: quanto à correção do substrato

1. A correção do substrato apresentou pouco efeito no desenvolvimento das mudas de macaúba;
2. As superfícies de resposta indicam que o melhor desenvolvimento da muda ocorre nas faixas que compreendem necessidade de calagem de 1,0 a 2,5 ton/ha (0,50 a 1,25 kg de calcário por m³ de substrato) e dose de fósforo variando de 3,0 a 4,0 kg de superfosfato simples por m³ de substrato;
3. Os resultados permitiram obter referencial para os teores de nutrientes minerais na parte aérea de mudas de macaúba (média de todos tratamentos), como segue:
 - a. Macronutrientes, em dag/kg: N=3,23; P=0,22; K=2,04; Ca=1,49; Mg=0,44; S=0,23 e Cl=1,41;
 - b. Micronutrientes, em mg/kg: Fe=295,63; B=65,84; Cu=3,00; Zn=19,81 e Mn=97,56.

Ensaio 3: quanto à adubação de cobertura

1. A macaúba responde à fertilização de cobertura com N, K e Mg ao nível de viveiro;
2. As mudas que receberam adubação de cobertura, independente da frequência, apresentaram maior altura, maior massa de matéria seca da parte aérea e maior vigor;
3. A frequência de adubação trimestral com 1g de uréia, 0,5g de cloreto de potássio e 0,5g de sulfato de magnésio por muda foi suficiente para produzir mudas de macaúba boa qualidade;
4. A frequência de adubação mensal com 1g de uréia, 0,5g de cloreto de potássio e 0,5g de sulfato de magnésio por muda proporcionou maior precocidade na produção das mudas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (pela concessão da bolsa de estudos), à FINEP e a EMBRAPA pelo financiamento do projeto de pesquisa (projeto Propalma).

REFERÊNCIAS

ABAD, M. Los sustratos hortícolas y técnicas de cultivo sin suelo. In: RALLO, L.; NUEZ, F. **La horticultura Española en la C.E.** Réus: Horticultura S.L., 1991, p. 271-280.

ÁLVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ÁLVAREZ V., V. H. (Eds). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação.** Viçosa: CFSEMG, 1999, p. 43-60.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Biometria.** Editora UFV, Viçosa (MG), 382 p. 2006.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T. **Plant propagation: principles and practices.** 5ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990. 642 p.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substratos. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Ed.). **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes.** Porto Alegre: Gênese, 2000, p. 139-145.

LORENZI, G. M. A. C. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd, ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável. **Tese** (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 156 p. 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants** (2nd ed.) London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINS FILHO, S.; ADÉSIO, F.; ANDRADE, B. S. de; RAGEL, R. M.; SILVA, M. F. da. Diferentes substratos afetando o desenvolvimento de Mudanças de palmeiras. **Revista Ceres**, v.54, n. 3011, p. 80-86. 2007.

MOTOIKE, S. Y.; LOPES, F. A.; SÁ JUNIOR, A. Q. de; *et al.* Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*. **Patente: PI0703180-7**, 2007.

MOTTA, P. E.; CURI, N.; OLIVEIRA FILHO, A. T., *et al.* Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesq. Agrop. Brasileira**, v.37, p.1023-1031. 2002.

MÜLLER, A. A. Produção de mudas de dendezeiro. In: VIÉGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A. (Ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000, p. 175-191,

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F. de; *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

PIMENTEL, L. D.; MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; *et al.* Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. **Informe Agropecuário**, v. 32, n 265, p. 61-69, 2011.

RIBEIRO, A. C. Recomendação de calagem e adubação de substratos para mudas, covas e canteiros. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ÁLVAREZ V., V. H. (Eds). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999, p. 263.

STATSOFT, Inc. (2007). **STATISTICA** (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

TEIXEIRA, P. C.; MACEDO, S. T. de. Calagem e fósforo para a formação de mudas de biribazeiro. **Rev. Ci. Agra.**, v.54, n.3, p.259-266, 2011.

WAGNER JÚNIOR, A.; NERES, C. R. L.; NEGREIROS, J. R. S.; *et al.* Substratos na formação de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.). **Revista Ceres**. Viçosa-MG, v. 53, n. 308, p. 439-455, 2006.

WAGNER JÚNIOR, A.; SILVA, J. O. C.; SANTOS, C. E. M.; *et al.* Substratos na formação de mudas para pessegueiro. **Revista Acta Scientiarum**. Maringá - PR, v. 29, n. 4, p. 569-572, 2007.

**CAPÍTULO III – RESPOSTA DA MACAÚBA À ADUBAÇÃO NITROGENADA
E POTÁSSICA ATÉ O SEGUNDO ANO DE CULTIVO NO CAMPO**

RESPOSTA DA MACAÚBA À ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA ATÉ O SEGUNDO ANO DE CULTIVO NO CAMPO

RESUMO

A exploração econômica da palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*) está passando por processo de transição do extrativismo para cultivos planejados. Entretanto, pesquisas em áreas cultivadas são escassas. Do ponto de vista nutricional, é fundamental desenvolver recomendações de adubação para a cultura. Neste trabalho, objetivou-se avaliar a resposta de três acessos de macaúba, cultivados no campo até o 2º ano, em função de cinco níveis adubação com N e K e obter um referencial para os teores de nutrientes minerais na folha de plantas cultivadas. O experimento foi montado em parcelas subdivididas. As parcelas foram dispostas em blocos casualizados, sendo: cinco tratamentos principais na parcela (doses crescentes de N e K) e três tratamentos secundários na subparcela (acessos de macaúba), com 3 repetições, cada parcela contendo 3 plantas. Os tratamentos principais foram: T1= sem adubação de cobertura com N e K (testemunha); T2= cobertura com 30% da dose estimada para N e K; T3= cobertura com 60% da dose estimada para N e K; T4= cobertura com 90% da dose estimada para N e K; T5= cobertura com 120% da dose estimada para N e K. Os tratamentos secundários foram acessos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. Os frutos que originaram as sementes foram coletados em uma única planta nas localidades citadas anteriormente e pré-germinadas em laboratório especializado na Universidade Federal de Viçosa (UFV). Em seguida, as sementes pré-germinadas foram plantadas em tubetes (fase de pré-viveiro) e depois transplantadas para sacolas plásticas contendo substrato (terra, areia, esterco e fertilizantes) até a emissão do primeiro par de folhas definitivas. As mudas foram plantadas no campo no

fim da estação chuvosa (mar/2009), com 8 meses de idade. Fez-se uma adubação básica na cova e a primeira cobertura idêntica para todos os tratamentos, a fim de estabelecer o cultivo no campo. No início da estação chuvosa subsequente (out/2009), foram introduzidos os tratamentos (doses de N e K em cobertura). Anualmente foram feitas 2 adubações de cobertura, uma no início e outra no fim da estação chuvosa. Ao final do segundo ano de cultivo no campo, foram feitas avaliações fitotécnicas (altura de plantas, número de folhas e vigor) e químicas (teores de nutrientes minerais nos tecidos foliares). Observou-se resposta diferenciada entre os acessos de macaúba avaliados, indicando que existem genótipos mais eficientes no uso dos insumos minerais. De modo geral, houve resposta positiva crescente da planta para todos os níveis de adubação avaliados. Entretanto, a partir do nível 3 (60% da dose referencial estimada) os incrementos no crescimento vegetativo das plantas foram reduzindo em função do aumento da dose de fertilizante. Em relação às avaliações químicas, foi possível obter um primeiro referencial sobre os teores de macronutrientes e micronutrientes na folha a fim de balizar os plantios comerciais em andamento e futuros programas de fertilização.

Palavras-chave: *Acrocomia Aculeata*, adubação cobertura, cultivo, teor foliar.

MACAW PALM RESPONSE TO NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZATION GROWING UNTIL SECOND YEAR IN FIELD

ABSTRACT

The economic exploitation of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) is undergoing transition from planned extraction for crops. However researches in cultivated areas are scarce. From a nutritional standpoint, it is critical to develop fertilizer recommendations for the crop. This study aimed to evaluate the response of three macaw palm accessions grown in the field until the 2nd year, according to five fertilization levels with N and K and obtain a reference to the contents of nutrients in cultivated plants leaves. The experiment was a split plot. The plots were arranged in randomized blocks, being five in the main plot (increasing doses of N and K) and three secondary treatments as subplots (macaw palm accesses), with 3 repetitions, each parcel containing 3 plants. The main treatments were: T1 = no top-dressing with N and K (control), T2 = 30% coverage of the estimated dose for N and K, T3 = 60% coverage of the estimated dose for N and K, T4 = coverage with 90% of the dose estimated for N and K; T5 = 120% coverage with the dose estimated for N and K. Secondary treatments were access of macaw palm from three regions of Minas Gerais state, Brazil. The fruits that originated the seeds were collected from a single plant in the localities mentioned above and pre-germinated in specialized laboratory at Federal University of Viçosa (UFV). Then the pre-germinated seeds were planted in plastic pots (pre-nursery) and then transplanted to plastic bags containing substrate (soil, sand, manure and fertilizers) until the issuance of the first pair of true leaves. The seedlings were planted in the field at the end of the rainy season (mar/2009) when they were eight months old. There was a fertilized in the pit and the first identical coverage for all treatments, in order to establish the crop in the field. At

the beginning of the subsequent rainy season (oct/2009), the treatments were introduced (N and K in coverage). Annually two top-dressing were made one at the beginning and another at the end of the rainy season. At the end of the second year in the field, the plant parameters (plant height, leaves number and force) and chemical (mineral nutrient content in the leaves) were evaluated. We observed differential response among the macaw palm accessions evaluated, indicating that there are more efficient genotypes in the use of mineral inputs. Overall, there was a positive response in plant growing to all fertilizer levels evaluated. However, from the level 3 (60% of estimated reference dose) increments in vegetative growth were reduced due to the increased dose of fertilizer. Regarding chemical evaluations, it was possible to obtain a first reference on the macronutrient and micronutrient in the leave in order to delimit the commercial plantations ongoing and future fertilization programs.

Keywords: *Acrocomia Aculeata*, fertilization coverage, growing, leaf content.

INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira oleífera de ocorrência natural em quase todo território brasileiro. Seu potencial produtivo pode ser equiparado ao da palma africana (*Elaeis guineenses*). Esta é a planta com maior produtividade de óleo por ha e a que contribui com maior parcela do óleo vegetal produzido ao nível mundial (CORLEY e TINKER, 2003). Neste contexto, a macaúba vem sendo apontada como uma das culturas estratégicas para aumentar e diversificar a produção de óleo vegetal no Brasil, com vistas ao suprimento da demanda para biodiesel.

Quase todo conhecimento acumulado sobre esta planta provém de estudos realizados nos maciços naturais e se restringe basicamente aos estudos dos frutos e do óleo (PIMENTEL *et al*, 2011). Porém, para que a macaúba se estabeleça como matéria-prima na produção de biodiesel, é necessário realizar pesquisas com plantas cultivadas em ambientes agrícolas para obter dados confiáveis. Isto é fundamental para desenvolver um sistema de produção.

Várias instituições públicas e privadas dedicam-se ao estudo dessa planta. Entretanto, os dados obtidos em palmares cultivados ainda são parciais. A maioria dos experimentos instalados no campo iniciou-se após o desenvolvimento do processo de germinação em laboratório, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), no ano de 2007 (MOTOIKE *et al* 2007). Neste sentido, pouco se sabe sobre a necessidade de fertilização para macaúba.

Pelo fato de a planta ocorrer naturalmente em áreas de cerrado, há uma falsa impressão de que a macaúba é pouco exigente quanto à fertilidade do solo. Motta *et al* (2002), estudando a ocorrência natural de macaúba no estado de Minas Gerais em função dos atributos diagnóstico do solo, observaram que a presença de macaúbas

nativas está associada à solos eutróficos, com teores médios de P e K elevados. Ares *et al* (2003), estudando a resposta da pupunha (*Bactris gasipaes*) à fertilização com NPK e seu *status* nutricional em solos da Amazônia Central, observaram que o crescimento das plantas não adubadas foi drasticamente reduzido quando comparado aos tratamentos com fertilização mineral. Esses trabalhos sinalizam que as palmeiras nativas são responsivas à fertilidade do solo, de modo similar ao observado para palmáceas cultivadas, como palma e coqueiro (VIÉGAS, 1993; SOBRAL, 1998).

Apesar de as palmáceas terem se desenvolvido em solos tropicais e apresentarem tolerância à acidez e baixa fertilidade do solo, a adubação faz-se necessária para suportar produção em sistemas agrícolas. Segundo Sobral e Leal (2005), o crescimento contínuo do coqueiro implica na remoção de grandes quantidades de nutrientes, os quais necessitam ser repostos por meio da aplicação de fertilizantes. Normalmente os nutrientes extraídos do solo em maior quantidade pelas palmeiras cultivadas são o nitrogênio e o potássio (PILLAI e DAVIS, 1963; OUVRIER; 1984; SOBRAL e LEAL, 2005).

Contudo, não existem dados na literatura sobre demanda nutricional da macaúba. Logo é fundamental avaliar a resposta desta planta a diferentes níveis de fertilização para se conhecer o grau de exigência nutricional e obter informações para o desenvolvimento de uma recomendação de adubação para subsidiar o cultivo comercial da espécie.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a resposta de três acessos de macaúba, cultivados no campo até o 2º ano, em função de cinco níveis adubação com N e K (doses crescentes) e obter um referencial para os teores de nutrientes minerais na folha de plantas cultivadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental de Araponga, MG, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada a 20°39'16,63"S e 42°31'59,40"O, no período de março/2009 a junho/2011. O clima da região, segundo classificação de Köppen é C_{wb}⁵ (SÁ JÚNIOR, 2009).

O solo onde foi implantado o experimento é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Alumínico argissólico – LV_{Aa}, segundo manual de classificação de solos (SANTOS *et al*, 2006). O local de condução do experimento situa-se no terço superior de morro, com declividade aproximada de 25%, com atitude de 876 metros (ponto central do experimento). O uso anterior da área era pastagem espontânea, com fertilidade natural baixa (não há registros de cultivos agrícolas anteriormente). Na Tabela 1, pode-se observar a análise do solo em questão.

O Experimento foi montado em parcelas subdivididas, no delineamento blocos casualizados, contendo: cinco tratamentos principais na parcela (doses de N e K) e três tratamentos secundários na subparcela (acessos de macaúba), em 3 blocos, cada parcela contendo 3 plantas.

Os tratamentos principais foram: T1= sem adubação de cobertura com N e K (testemunha); T2= cobertura com 30% da dose estimada para N e K; T3= cobertura com 60% da dose estimada para N e K; T4= cobertura com 90% da dose estimada para N e K; T5= cobertura com 120% da dose estimada para N e K. A dose referencial estimada (100%) foi baseada nas recomendações de adubação para palma e coqueiro (SOBRAL,

⁵ Segundo classificação Köppen, significa: Clima Temperado úmido (C), com inverno seco (w) e verão moderadamente quente (b), no Brasil popularmente chamado de clima tropical de altitude.

1998; VIÉGAS e BOTELHO, 2000). Foi feita uma média da dose de N e K recomendada para essas culturas por ha cultivado. Posteriormente, dimensionaram-se os tratamentos principais em função da dose média por ha adotada para palma e coqueiro, considerando percentual de 0, 30, 60, 90 e 120%. Em seguida, os valores estimados por ha foram divididos para determinar adubação por planta, uma vez que a densidade de plantas por ha é diferente (palma e coqueiro ±150 plantas/ha e macaúba ±400 plantas/ha).

Tabela 1: Análise físico-química do solo onde foi implantado o experimento.

Profundidade amostragem	pH (H ₂ O)	P ... (mg/dm ³)...	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	SB	CTC (t)	CTC (T)
0-20 cm	5,1	2,9	35	0,2	0,1	2,0	12,54	0,39	2,39	12,93
20-40 cm	4,9	1,1	23	0,0	0,1	1,2	9,41	0,16	1,36	9,57

	V (%).....	m MO	P _{rem}	Zn	Fe (mg/dm ³).....	Mn	Cu	B	
0-20 cm	3	84	6,9	13,6	0,5	146,6	3,9	0,4	0,1
20-40 cm	2	88	4,8	11,1	0,3	74,4	1,6	0,2	0,0

	Argila (%).....	Silte	Areia	Classificação textural	Tipo
0-20 cm	44	10	46	Argilo Arenosa	3
20-40 cm	41	9	50	Argilo Arenosa	3

Dados:

pH em água

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0

B - Extrator água quente

S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético

SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

V = Índice de Saturação de Bases

m = Índice de Saturação de Alumínio

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N

P-rem = Fósforo Remanescente

Conforme capacidade de retenção de água: Tipo 1=Arenoso; Tipo 2= Textura Média; Tipo 3= Argiloso.

Os tratamentos secundários foram acessos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais: Central, município de Betim (acesso 1), Zona da Mata, município de Piranga (acesso 2), Campos das Vertentes, município de Barroso (acesso 3), representando três populações de macaúba. Os frutos, dos quais se extraíram as sementes, foram coletados em uma única planta de cada acesso nas regiões citadas anteriormente e as sementes foram pré-germinadas em laboratório especializado na UFV. Em seguida, as sementes pré-germinadas foram plantadas em tubetes (fase de pré-

viveiro) e depois transplantadas para sacolas plásticas contendo substrato (terra, areia, esterco e fertilizantes) até a emissão do primeiro par de folhas definitivas.

As mudas foram plantadas no campo no fim da estação chuvosa (mar/2008), com oito meses de idade. O espaçamento utilizado foi de 5x5 m entre plantas (densidade de 400 plantas/ha). As covas foram abertas com broca de 18 polegadas de diâmetro, resultando em covas cilíndricas com aproximadamente 46 cm de diâmetro por 50 cm de profundidade (Figura 1).



1.1 Preparo da área para plantio.



1.2 Reabertura das covas (cheias) e plantio.



1.3 Adubação de cobertura em sulcos.



1.4 Coleta de folíolos para análise foliar.

Figura 1: Montagem (figs. 1.1 e 1.2) e condução do experimento (figs. 1.3 e 1.4).

Foi realizada adubação básica de cova e a primeira cobertura idêntica para todos os tratamentos a fim de estabelecer o cultivo no campo como segue: 400 g superfosfato simples mais 200 g de calcário dolomítico por planta no plantio (março/2009), seguida de 40 g de uréia, 40 g de KCl e 25 g de boráx por planta em cobertura (abril/2009). No início da estação chuvosa subsequente foram introduzidos os tratamentos referentes às doses (doses de N e K em cobertura). Anualmente foram feitas 2 adubações de cobertura, uma no início e outra no fim da estação chuvosa (Tabela 2).

Tabela 2: Adubação de cobertura em plantas de macaúba, com N e K, realizada até o segundo ano de cultivo no campo.

Tratamento/ dose (D)	.....Ano 1.....		.....Ano 2.....	
	Cobertura 1 (out/2009)	Cobertura 2 (mar/2010)	Cobertura 1 (out/2010)	Cobertura 2 (mar/2011)
D1- 0%	sem adubação	sem adubação	sem adubação	sem adubação
D2- 30%	40gUréia+40gKCl	40gUréia+40gKCl	60gUréia+60gKCl	60gUréia+60gKCl
D3- 60%	80gUréia+80gKCl	80gUréia+80gKCl	120gUréia+120gKCl	120gUréia+120gKCl
D4- 90%	120gUréia+120gKCl	120gUréia+120gKCl	180gUréia+180gKCl	180gUréia+180gKCl
D5- 120%	160gUréia+160gKCl	160gUréia+160gKCl	240gUréia+240gKCl	240gUréia+240gKCl

Dados dos fertilizantes comerciais utilizados: Uréia 45% de N; KCl 60% de K₂O; Superfosfato Simples 20% de P₂O₅.

Ao final do 2º ano agrícola (junho/2011) foram avaliadas as características fitotécnicas: altura de plantas, número de folhas e vigor e, químicas: teores de nutrientes minerais nos tecidos foliares.

Para medição da altura, foi utilizada uma régua constituída de tubo de PVC, graduada de 10 em 10 cm. Considerou-se a altura medida do ápice da folha mais jovem (denominada de flecha ou folha zero) até o nível do solo. O número de folhas foi contado a partir da folha 1 (primeira folha aberta logo abaixo da flecha). Para avaliação do vigor da planta, foi feita escala de notas, variando de 1 (menor vigor) a 5 (maior vigor). Para avaliação dos teores foliares, foi coletada uma amostra composta para as 3 plantas da parcela. Utilizou-se, como folha índice a folha número 2 ou 3, que é a primeira folha totalmente expandida, ou seja, a folha mais jovem com metabolismo fotossintético totalmente ativo. Assim, coletaram-se cerca de 20 folíolos no terço médio da folha, em ambos os lados (Figura 1).

Para a quantificação dos teores de nutrientes nas amostras dos tecidos da planta, o material foi seco em estufa a 72°C por 72 horas (até atingir peso constante). Em seguida, as amostras foram homogeneizadas e moídas. A quantificação dos teores de nutrientes foi realizada pelos seguintes métodos: para o N por titulometria (método de Kjeldhal); para o B, S e P realizaram-se digestão nitroperclórica e quantificação por calorimetria; para o K realizou-se digestão nitroperclórica e quantificação por fotometria de chama; para o Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn realizaram-se digestão nitroperclórica e quantificação por espectrofotometria de massa atômica; para o Cl, utilizou-se extração em água quente por 1 hora seguida de titulação com nitrato de prata.

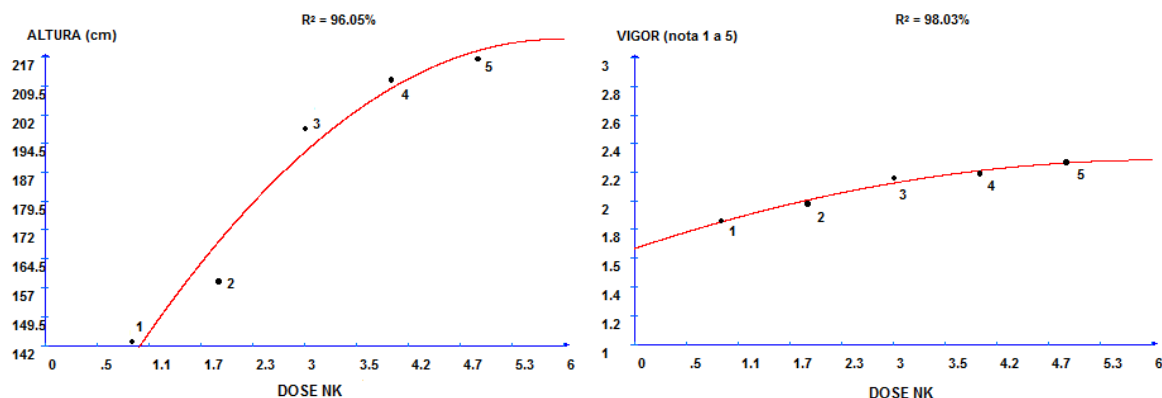
As análises estatísticas foram processadas no aplicativo computacional SAS (*Statistical Analysis System*, versão 6.2) com intuito de verificar se houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F e também comparação de médias pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de regressão para indicar as doses de N e K que correspondem à melhor resposta da planta. Os gráficos de regressão foram plotados no aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliações fitotécnicas

De acordo com análise de variância, observou-se diferença significativa na parcela (doses de N e K) para as variáveis altura de plantas e vigor. Para a variável número de folhas não houve diferença significativa. Nas subparcelas (acessos), observou-se diferença significativa para as três variáveis, porém, para a variável número de folhas foi observada interação significativa entre doses de N e K e os acessos.

As variáveis altura de plantas e vigor foram avaliadas por meio de análise de regressão. O modelo que melhor se ajustou à descrição do efeito observado na planta foi o quadrático (Figura 2). Houve resposta positiva para todos os níveis de adubação, não sendo atingido o ponto de máximo da curva no intervalo avaliado, ou seja, a dose máxima de adubo N e K a partir da qual a planta deixaria de responder ao acréscimo de fertilizante. Entretanto, observa-se que a partir da dose 3 (60% da adubação estimada), a resposta em função do acréscimo de fertilizante diminuiu significativamente, quando comparada com as doses iniciais, indicando que provavelmente este nível de adubação esteja próximo da dose economicamente viável.



2.1 Curva de regressão para variável altura em cm.
 $Y = 138,8517 + 1,11741X - 0,00377X^2$ (sig. 0,03%)
 β_1 sig. 1,3%; β_2 sig. 30,2%.

2.1 Curva de regressão para variável vigor.
 $Y = 1,85771 + 0,00554X - 0,0000178X^2$ (sig. 0,01%)
 β_1 sig. 1,3%; β_2 sig. 30,2%.

Dados transformados segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Figura 2: Altura média e vigor de plantas de macaúba observados em função de 5 doses de N e K em cobertura, avaliado no segundo ano de cultivo ao nível de campo.

A dose 3 corresponde a uma fertilização com 72 g de N e 96 g de K_2O por planta no primeiro ano e, 108 g de N e 144 g de K_2O por planta no segundo ano (Tabela 2). Segundo Viégas e Botelho (2000), a recomendação de N e K para o dendê no estado do Para é de 90 g de N e 180 g de K_2O por planta no primeiro ano e, 112 g de N e 360 g de K_2O por planta no segundo ano. Considerando que a dose 3 adotada neste trabalho seja a dose econômica para a macaúba, observa-se que ha uma redução de 10% na quantidade de N e 55% na quantidade de K_2O , quando comparada a adubação do dendezeiro.

Analisando os acessos nas subparcelas, em função das doses de N e K, observou-se que, de maneira geral, o acesso 3 teve crescimento vegetativo superior aos demais, pois apresentou maior altura de plantas, maior número de folhas e maior vigor (Tabela 3).

Tabela 3: Comparação de médias pelo teste Tukey entre altura de plantas, número de folhas definitivas e nota, em 3 acessos de durante 2 anos ao nível de campo.

Variável	Acesso 1	Acesso 2	Acesso 3
Altura	174,44b	157,15b	224,88a
Nº de folhas ¹	9,04 (3,17)b	8,98 (3,16)b	10,28 (3,36)a
Vigor ²	4,20 (2,05)b	2,96 (1,99)b	3,97 (2,23)a

^{1, 2} Valores entre parêntesis foram transformados para seguir distribuição normal segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Entretanto, para a variável número de folhas foi observada interação significativa entre dose de fertilizante e acesso, indicando que existe comportamento diferenciado entre genótipos de macaúba em função da adubação. Porém, quando analisadas as médias de número de folhas dos acessos para cada dose de fertilizante, não foi observada diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey (Tabela 4).

Tabela 4: Comparação de médias pelo teste Tukey entre número de folhas¹ em 3 acessos de durante 2 anos ao nível de campo.

Parâmetro	Acesso 1	Acesso 2	Acesso 3
Dose 1 (0%)	7,41 (2,90)a	7,52 (2,92)a	10,76 (3,43)a
Dose 2 (30%)	8,42 (3,07)a	7,70 (2,95)a	9,69 (3,27)a
Dose 3 (60%)	9,04 (3,17)a	10,22 (3,35)a	9,36 (3,22)a
Dose 4 (90%)	10,56 (3,40)a	9,75 (3,28)a	10,22 (3,35)a
Dose 5 (120%)	10,08 (3,33)a	10,22 (3,35)a	11,97 (3,46)a

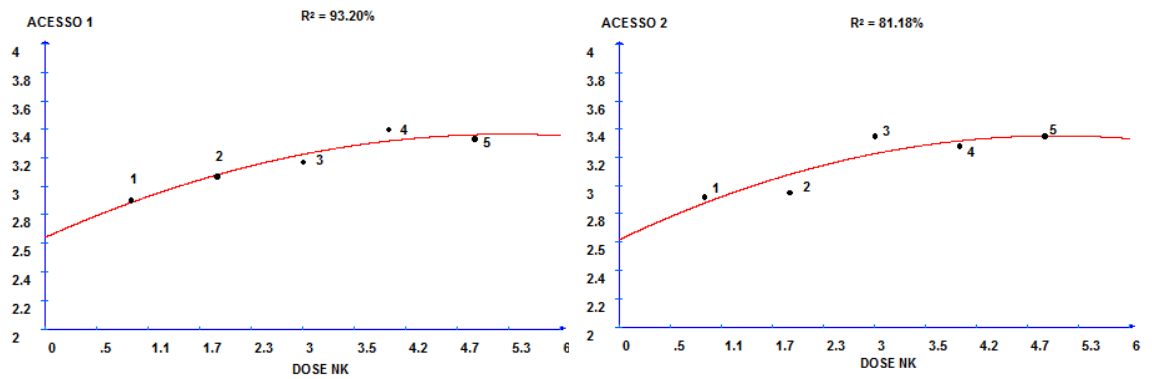
¹Valores transformados para seguir distribuição normal segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Por outro lado, quando analisadas as doses de fertilizante dentro de cada acesso, observou-se resposta diferenciada dos acessos, conforme curvas de regressão ajustadas abaixo (Figura 3).

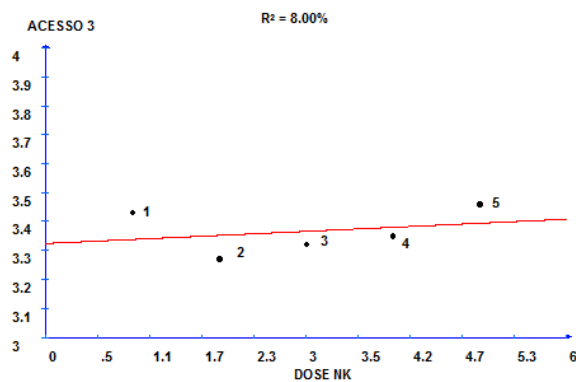
Quando considerada a escala de notas adotada para medir o vigor das plantas (Figura 4), observou-se visualmente que para os níveis de fertilização mais baixos (doses 1 e 2) o acesso 26 se destacou, indicando que esta planta pode apresentar maior eficiência na utilização dos insumos minerais. Para os níveis de adubação mais elevados (doses 3, 4 e 5), houve pouca diferença visual entre os tratamentos. Entretanto, a partir do segundo ano, as plantas com maiores níveis de adubação se destacaram, sendo que o acesso 26 continuou aparentando superioridade em relação aos demais.

Uma característica marcante no experimento foi o crescimento inicial lento das plantas, o que pode ser explicado pelo caráter silvestre da espécie (não domesticada). No primeiro ano de cultivo, praticamente não se observou diferença visual entre os tratamentos, apesar de o acesso 3 ter aparentado superioridade desde a fase de muda, o que pode ter contribuído para o melhor desempenho deste acesso nas condições de campo. Empiricamente, tem-se notado comportamento similar nos cultivos comerciais de macaúba, o que sugere um crescimento exponencial na fase juvenil, entretanto, são precisos mais estudos sobre o assunto.



3.1 N^o folhas acesso 1*

3.2 N^o folhas acesso 2*



3.3 N^o folhas acesso 3*

Figura 3: Número médio de folhas em três acessos de macaúba observados em função de 5 doses de N e K em cobertura, avaliado no segundo ano de cultivo ao nível de campo.

Dados:

3.1 $Y = 2,8852 + 0,00732X - 0,00002804X^2$ (sig. 1,23%); β_1 sig. 9,18%; β_2 sig. 39,69%.

3.2 $Y = 2,8767 + 0,00762X - 0,00003069X^2$ (sig. 1,15%); β_1 sig. 7,79%; β_2 sig. 35,02%.

3.3 $Y = 3,33667 + 0,00048889X$ (sig. 62,52%); β_1 sig. 62,52%.

*Dados transformados segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Obs: Na figura 3.3 o modelo matemático que melhor se ajustaria aos dados seria quadrático com concavidade da curva voltada para cima (coeficiente positivo de X^2). Entretanto, este modelo matemático não explicaria o fenômeno biológico observado. Por isso, adotou-se o modelo matemático linear (1^o grau), apesar desde ter apresentado baixo R^2 (8%).



4.1 Subdesenvolvimento no 2º ano
Nota mínima: 1



4.2 Subdesenvolvimento no 2º ano
Nota baixa: 2



4.3 Desenvolvimento satisfatório 2º ano
Nota mediana: 3



4.4 Desenvolvimento pleno 2º ano
Nota alta: 4



4.5 Desenvolvimento pleno 2º ano
Nota máxima: 5



4.6 Visão geral do experimento

Figura 4: Comparação por escala de notas em função do vigor e desenvolvimento médio das plantas.

Avaliações químicas

As médias dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos tecidos foliares da macaúba cultivada por dois anos em nível de campo podem ser observadas na Tabela 5. Para os macronutrientes primários (N, P e K), observa-se que houve incremento nos teores foliares de N e K em função das doses crescentes de fertilizante, ao passo que o teor de P não foi alterado (Figura 5). Isto indica que para o P a dose aplicada na cova foi suficiente para suportar a demanda de crescimento da planta até o segundo ano, sem efeito de diluição. Sobral e Leal (2005), estudando doses crescentes de NPK em coqueiro, não encontraram resposta na produção em função do aumento de fósforo. Isto sugere que as palmáceas são pouco responsivas ao P ou que a partir de uma dose satisfatória para suprir a demanda da cultura, o incremento de P não promove incremento na produção conforme observado para N e K nas palmeiras.

Por outro lado, os teores de N e K seguiram tendência de crescimento em função da dose, indicando que as doses 1 e 2 podem ser insuficientes para o pleno desenvolvimento da planta, conforme observado nas avaliações fitotécnicas. A partir da dose 3, percebe-se tendência de estabilização dos teores de N e K, o que confirma a hipótese de que a dose 3 estaria próxima da dose economicamente viável.

Para os macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) percebeu-se efeito de diluição dos teores foliares em função das doses crescentes de N e K (Figura 5). Entretanto, acredita-se que não houve insuficiência no fornecimento destes elementos no solo, pois no plantio foram aplicados 200g de calcário dolomítico na cova e 400g de superfosfato simples. Neste caso, espera-se que a quantidade de Ca e Mg aplicada via calcário e S via superfosfato simples tenham sido suficientes para suportar a demanda inicial da planta.

Tabela 5: Médias dos teores de macronutrientes e micronutrientes em 3 acessos de macaúba sob 5 doses de NK em adubação de cobertura, durante 2 anos ao nível de campo.

TratamentosMacronutrientes (dag/kg).....					Micronutrientes (mg/kg).....						..dag/kg..
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Cl	
Dose 1 (0%)	2,83	0,17	0,80	1,00	0,31	0,45	17,11	143,89	42,22	4,56	54,12	0,24	
Dose 2 (30%)	2,82	0,17	1,08	0,82	0,21	0,31	13,78	159,22	36,11	4,56	61,13	0,38	
Dose 3 (60%)	3,03	0,17	1,14	0,73	0,16	0,27	11,44	138,00	28,11	4,00	39,97	0,41	
Dose 4 (90%)	2,91	0,16	1,32	0,54	0,15	0,23	11,11	128,89	26,11	3,89	43,57	0,33	
Dose 5 (120%)	3,07	0,17	1,36	0,49	0,15	0,23	11,33	126,89	30,22	4,00	39,28	0,37	

O teor de Cloro nos tecidos foliares seguiu tendência similar à observada para o K, em que se observou aumento do teor foliar em função da dose do fertilizante (KCl). O fertilizante comercial utilizado no experimento como fonte de K foi o cloreto de potássio (KCl) o que justifica o aumento do Cl em função das doses crescentes de N e K. Entretanto, o teor de Cl observado é relativamente alto se comparado às demais culturas, porém, próximo ao observado em outras palmáceas (SOBRAL, 1998; VIÉGAS e BOTELHO, 2000). Neste trabalho, o teor de Cl observado foi superior aos teores foliares dos macronutrientes P, S e Mg no tratamento 3 (Tabela 5). Uexkull (1972) comprovou o efeito benéfico do cloro em palmáceas demonstrando a superioridade dos tratamentos que receberam adubação potássica com cloro (KCl) sobre àqueles que receberam adubação potássica sem cloro (KNO₃). Corley e Tinker (2003) sugerem que o cloro atua como elemento complementar no balanço osmótico das palmáceas controlando melhor a regulação estomática e o balanço osmótico dentro do vacúolo da célula.

O B apresentou efeito de diluição linear, similar ao observado para o Ca, em função do aumento das doses de N e K. Entretanto, similar ao fenômeno descrito para os macronutrientes secundários (Ca, Mg e S), foi feita adubação de plantio com 25g de boráx por planta o que sugere não ter havido limitação de fornecimento do nutriente para o crescimento e desenvolvimento inicial das plantas.

Para os micronutrientes metálicos catiônicos (Cu, Fe, Zn e Mn) também foi observado efeito de diluição nos teores foliares em função das doses crescentes de N e K (Figura 5). Os modelos matemáticos sugerem uma curva de redução quadrática para o efeito das doses crescentes de N e K.

Entretanto, acredita-se que o efeito de diluição observado não tenha afetado o crescimento e desenvolvimento das plantas. Caso contrário, pela Lei do Mínimo (Justos von Liebig), não teria ocorrido resposta positiva da planta para todos os níveis de adubação com N e K, conforme observado nas análises morfológicas (altura de plantas, número de folhas e vigor).

É importante observar que o N e o K apresentam interações fracas com o solo (iônicas, principalmente), uma vez que tratam-se de íons monovalentes (MARSCHNER, 1995). Isto sugere pronta disponibilidade destes elementos para as plantas quando aplicados em suas formas solúveis (fertilizantes químicos), o que explica o incremento nos teores foliares em função das doses crescentes do fertilizante neste trabalho.

Por outro lado, é preciso observar que as plantas apresentam limitação na seletividade das membranas, podendo ocorrer efeito antagônico na absorção de nutrientes com características físico-químicas similares (MARSCHNER, 1995). No caso de teores elevados de K^+ na solução do solo, pode haver competição na absorção de outros cátions (ERNANI *et al*, 2007), o que explica o efeito acentuado de diluição observado para Ca, Mg, e micronutrientes metálicos (Fe, Cu, Zn e Mn). Entretanto, as plantas apresentam plasticidade quanto às variações físico-químicas do ambiente. Assim, os desequilíbrios só são observados quando as variações da concentração de nutrientes no solo é muito grande (LARCHER, 2006; ERNANI *et al*, 2007).

O nitrogênio pode ser encontrado sob diversas formas no solo. Sua absorção pela planta ocorre tanto na forma aniônica (NO_3^-) quanto catiônica (NH_4^+), sendo que esta última predomina em solos com caráter ácido (CANTARELLA, 2007). O N aplicado na forma de uréia pode ser convertido rapidamente em amônio (NH_4^+), que por sua vez contribui para aumentar a acidificação do solo. Neste caso, as elevadas doses de N também podem ter contribuído para o efeito antagônico observado em relação aos demais cátions essenciais.

Neste contexto, sugere-se que em trabalhos futuros seja avaliada a resposta da planta às adubações crescentes levando em consideração também o aumento da calagem e a fertilização com micronutrientes.

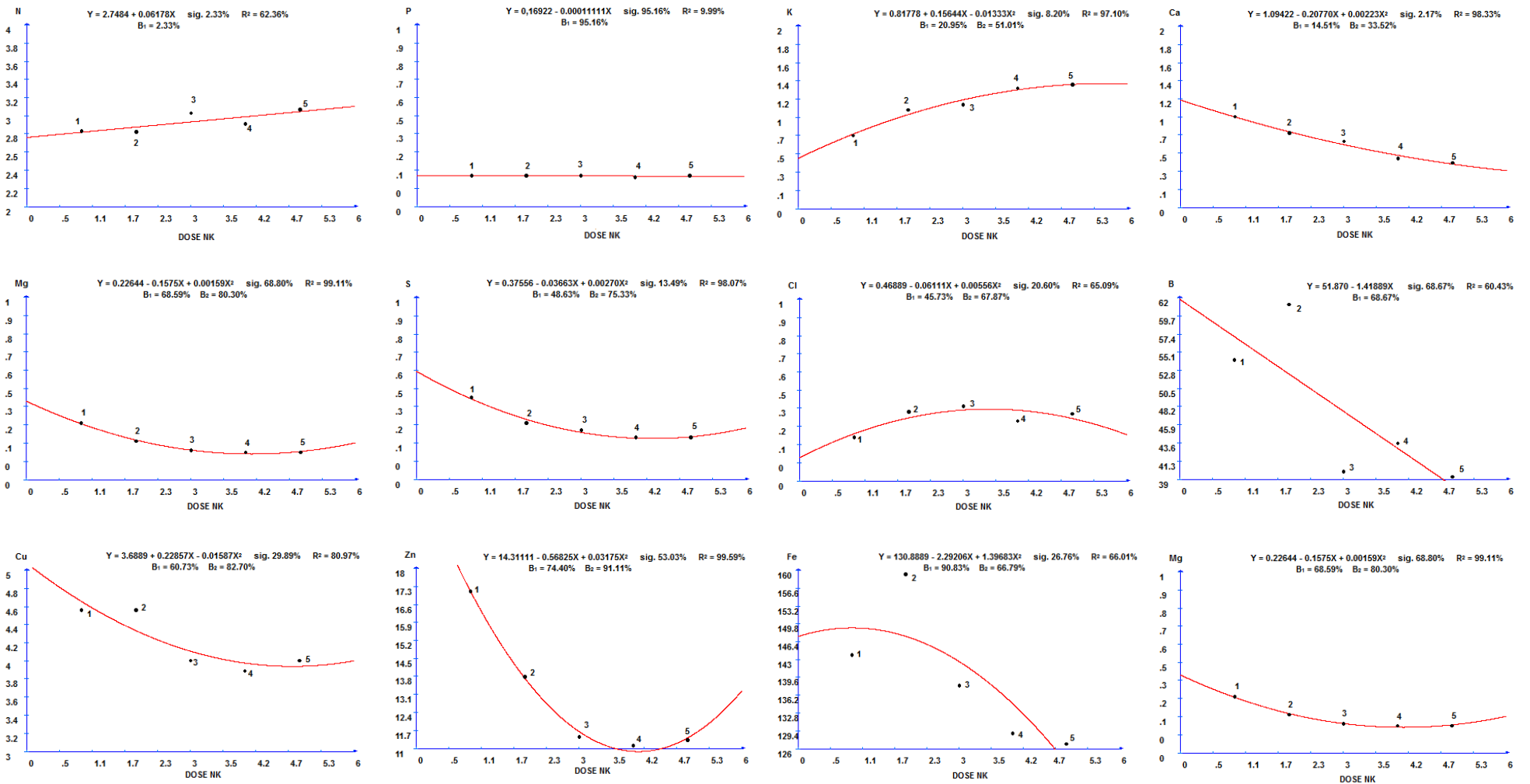


Figura 5: Curvas de regressão para teores de nutrientes minerais em plantas de macaúba cultivadas por dois anos ao nível de campo, em função de 5 doses de NK em cobertura.

Dados: Valores de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e Cl expressos em dag/kg. Valores de micronutrientes B, Cu, Zn, Fe e Mn expressos em mg/kg.

Quando comparados os teores de nutrientes minerais nos tecidos foliares da macaúba com outras palmáceas, observa-se ordem de grandeza similar (Tabela 6). Entretanto, é preciso maior número de trabalhos para validar a resposta obtida em outros ambientes, definir as folhas índices em função da idade da planta e as faixas de suficiência dos teores de elementos minerais na folha, uma vez que neste trabalho observou-se grande variação nos teores foliares (efeito de diluição) em função das crescentes de N e K.

Tabela 6: Níveis críticos de nutrientes na palma e coqueiro gigante e, teor foliar na macaúba (dose 3).

Nutrientes	Palma (9ª folha) ¹	Coqueiro (9ª folha) ²	Macaúba (2ª folha) ³
Macronutrientes	.....dag Kg ⁻¹ MS.....		
N	2,75	2,20	3,03
P	0,16	0,13	0,17
K	1,25	1,15	1,14
Ca	0,24	0,44	0,73
Mg	0,60	0,24	0,16
S	0,22	0,15	0,27
Micronutrientes	.....mg Kg ⁻¹ MS.....		
Cl	3200	400 a 2330	4100
Mn	168	100	36
Fe	41	40	159
Zn	7	15	11
B	23	10	40
Cu	5	5	4

Dados: ¹e² Nível crítico do nutriente na folha 9 (planta adulta).

³ Teor foliar em plantas com 2 anos de idade (média do tratamento 3).

Fonte: Coqueiro: Sobral (1998); palma: Viégas e Botelho (2000).

CONCLUSÕES

1. Houve resposta positiva da macaúba para todos os 5 níveis de adubação avaliados até o 2º ano de cultivo no campo;
2. A partir do nível 3 (60% da adubação referencial), houve incrementos cada vez menores nas variáveis de crescimento por unidade de nutriente aplicado;
3. Os acessos avaliados apresentaram resposta diferenciada de crescimento quanto aos níveis de adubação empregados, indicando que há variabilidade na espécie quanto à eficiência nutricional;
4. Plantas de macaúba com bom vigor (nível de adubação 3), no segundo ano de cultivo no campo, apresentaram os seguintes teores de nutrientes minerais na folha 2 ou 3:
 - a. Macronutrientes, em dag/kg: N=3,03; P=0,17; K=1,14; Ca=0,73; Mg=0,16; S=0,27 e Cl=0,41;
 - b. Micronutrientes, em mg/kg: Fe=159; B=40; Cu=4; Zn=11 e Mn=36.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (pela concessão da bolsa de estudos), à FINEP e a EMBRAPA pelo financiamento do projeto de pesquisa (projeto Propalma).

REFERÊNCIAS

- ARES, A.; FALCÃO, N.; YUYAMA, K.; YOST, R. S.; CLEMENT, C. R. Response to fertilization and nutrient deficiency diagnostics in peach palm in Central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.66, p.221-232. 2003.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F. de; *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.
- CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm** (4nd ed). Oxford/EUA: Blackwell Science, 2003, 562 p.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Biometria. Editora UFV, Viçosa (MG), 382 p. 2006.
- ERNANI, P. K.; ALMEIDA, J. A. de; SANTOS, F. C. dos. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F. de; *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 551-594.

- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Ed. Rima, 2006. 550p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants** (2nd ed.) London: Academic Press, 1995. 889p.
- MOTOIKE, S. Y.; LOPES, F. A.; SÁ JUNIOR, A. Q. de; *et al.* Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*. **Patente: PI0703180-7**, 2007.
- MOTTA, P. E.; CURTI, N.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; *et al.* Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesq, Agrop, Brasileira**, v.37, p.1023-1031, 2002.
- OUVRIER, M. Exportation par la récolte du cocotier PB-121 em fonction de la fumure potassique et magnésienne. **Oleagineux**, v. 39, p.263-71, 1984.
- PILLAI, N. G.; DAVIS, T. A. Exhaust of macronutrients by the coconut palm: a preliminary study. **Ind. Coconut Journal**, v.16; p.81-87, 1963.
- PIMENTEL, L. D.; DIAS, L. A. dos S.; PAES, J. M. V.; *et al.* Diversidade no gênero *Acrocomia* e proposta de subdivisão da espécie *Acrocomia aculeata*. **Informe Agropecuário**, v. 32, n 265, p. 81-87, 2011.
- SÁ JÚNIOR, A. de. Aplicação da Classificação de Koppen para o Zoneamento Climático do Estado de Minas Gerais. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 101 p, 2009.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2^a edição. RJ: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SOBRAL, L. F. Nutrição mineral do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARNICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil** (2^a ed.). Brasília: Embrapa-SPI, 292 p. 129-157, 1998.
- SOBRAL, L. F.; LEAL, M. L. S. Resposta do coqueiro à adubação com uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio em dois solos do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 85-89, 2005.
- UEXKULL, H. R. von. Response of coconut to (potassium) chloride in the Philippines. **Oléagineux**, v.27, n.1, p.13-19, 1972.
- VIÉGAS, I. de J. M. Crescimento do dendezeiro (*Elaeis guineensis*), concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes de plantas com 2 a 8 anos de idade, cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico Tailândia, Pará. **Tese** (Agricultura) – Esalq, Piracicaba, SP., 217 p. 1993.
- VIÉGAS, I. de J. M.; BOTELHO, S. M. Nutrição mineral do dendezeiro. In: VIÉGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A. (Ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000, p. 229-273.

CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos com nutrição mineral da macaúba demonstraram que a planta é bastante responsiva à adubação e apresenta alta sensibilidade à deficiência de micronutrientes metálicos (Fe e Cu). Quanto aos macronutrientes, observou-se maior sensibilidade ao P, Ca e K. O experimento com omissão de nutrientes minerais permitiu caracterizar os sintomas de deficiência mineral na macaúba, que por sua vez foram similares aos relatados por outros autores em palma e coqueiro.

Nas avaliações com substratos e fertilização de mudas, observou-se que a resposta inicial da planta à fertilização é lenta, visto que o endosperma (amêndoa) permanece aderido à planta até o 4º ou 5º mês, aproximadamente. Evidentemente, a contribuição do endosperma na nutrição da muda vai diminuindo à medida que as raízes vão se desenvolvendo e as folhas definitivas vão surgindo. Por este motivo, dificilmente se percebe diferenças entre os tratamentos nos meses iniciais, o que leva a uma falsa impressão que a planta não responde aos fertilizantes. Entretanto, a partir desse período, as plantas com níveis adequados de fertilização se destacam das subnutridas resultando em plantas mais vigorosas e precoces.

No campo observa-se comportamento semelhante. No primeiro ano após o plantio, o crescimento da planta é lento, com pouca diferença visual entre os diferentes níveis de fertilização. A partir do segundo ano, as plantas adubadas com maiores doses de fertilizantes apresentam maior vigor e precocidade. Outros autores observaram comportamento similar na palma africana, em que o acúmulo de matéria seca é lento até o 3º ano, a partir do qual as plantas apresentam crescimento e desenvolvimento mais expressivo.

Os teores foliares medidos na macaúba, com dois anos de idade ao nível de

campo, apresentaram ordem de grandeza similar aos de outras palmáceas (Tabela 1). No caso da muda de macaúba, também se observou similaridade entre o acúmulo de nutrientes observados na palma e coqueiro.

Tabela 1: Comparação entre níveis críticos de nutrientes na palma e coqueiro gigante com teores foliares observados em três experimentos com macaúba.

Nutrientes	Palma (9ª folha) ¹	Coqueiro (9ª folha) ²	Macaúba (2ª folha) ³	Macaúba (mudas) ⁴	Macaúba (hidropônia) ⁵
Macronutrientes	.....dag kg ⁻¹ MS.....				
N	2,75	2,20	3,03	3,23	2,68
P	0,16	0,13	0,17	0,22	0,27
K	1,25	1,15	1,14	2,04	2,02
Ca	0,24	0,44	0,73	1,49	1,32
Mg	0,60	0,24	0,16	0,44	0,30
S	0,22	0,15	0,27	0,23	0,33
Micronutrientes	.....mg kg ⁻¹ MS..				
Cl	3.200	400 a 2.330	4.100	14.000	25.000
Mn	168	100	36	98	216
Fe	41	40	159	296	66
Zn	7	15	11	20	20
B	23	10	40	66	48
Cu	5	5	4	3	3
Ni	nd	nd	nd	nd	nd
Mo	nd	nd	nd	nd	nd

Dados:^{1 e 2}Nível crítico do nutriente na folha 9 (planta adulta).

³Teor foliar em plantas com 2 anos (média do tratamento 3).

⁴Teor foliar em mudas de macaúba com 6 meses (média de todos tratamentos).

⁵Teor foliar em mudas de macaúba com 1 ano cultivadas em hidroponia (solução completa).

nd = não disponível

Fonte: Coqueiro: Sobral (1998); palma: Viégas e Botelho (2000).

Observou-se ainda, que a macaúba tolera o acúmulo de cloro em grandes quantidades. O teor foliar nas mudas cultivadas em hidroponia foi de 25.000 mg/kg, nas mudas em viveiro foi de 14.000 mg/kg e nas plantas cultivada ao nível de campo (2 ano) foi de 4.100 mg/kg.

De modo geral, os resultados permitem traçar uma recomendação de fertilização para mudas de macaúba e também uma recomendação de adubação preliminar para o cultivo à campo nos dois primeiros anos. Logo, estes resultados são fundamentais para respaldar tecnicamente o desenvolvimento dos viveiros e cultivos comerciais de macaúba. Contudo, estes trabalhos continuam em desenvolvimento na Universidade Federal de Viçosa e poderão calibrar anualmente as recomendações de adubação para o cultivo da macaúba.

ANEXOS

ANEXOS - CAPITULO I:

Tabela 1: Resumo da análise de variância, em blocos ao acaso, das características fitotécnicas em mudas de macaúba sob omissão de nutrientes minerais.

FV ¹	GL ²	NFP ³ (und.)	NFL ⁴ (und.)	CPA ⁵ (cm)	CRA ⁶ (cm)	>DCO ⁷ (mm)	<DCO ⁸ (mm)	MSP ⁹ (g)	MSR ¹⁰ (g)	MSB ¹¹ (g)
.....Quadrado Médio.....										
Blocos	5	0,1719	0,0581	155,2583	8,7222	58,9222	19,8889	47,9557	15,1889	7,1324
Tratamentos	11	0,2734**	0,1281ns	545,6705**	256,3131**	175,8889**	62,2374**	159,7078**	23,3234**	44,1740**
Resíduo	55	0,0904	0,109	96,6402	85,9162	23,6556	13,6101	16,5109	2,7896	8,6561
Média		1,94	1,77	56,54	47,78	25,28	18,14	17,68	6,50	9,37
CV(%)		15,51	18,63	17,39	19,40	19,24	20,34	22,99	25,69	31,41

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Dados: 1.Fonte de Variação; 2.Graus de liberdade; 3. Número de folhas pinadas (definitivas); 4. Número de folhas lanceoladas (bipartidas); 5. Comprimento da parte aérea; 6. Comprimento da raiz; 7. Maior diâmetro do bulbo; 8. Menor diâmetro do bulbo; 9. Massa de matéria seca da parte aérea; 10. Massa de matéria seca da raiz; 11. Massa de matéria seca do bulbo.

Valores de NFP e NFL foram transformados para seguir distribuição normal segundo equação: $X = \sqrt{x+1}$.

Tabela 2: Resumo da análise de variância, em blocos ao acaso, do teor (concentração) de nutrientes minerais na folha¹.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Blocos	1	0,3060	0,0040	0,0042	0,0925	0,0176	0,0002	1,2604	1410,6666	1085,4150	0,0416	5,0416	805,0416
Tratamentos	11	0,3682*	0,1617**	0,3164*	0,6793**	0,0704**	0,0106*	0,6140 ^{ns}	1525,3030 ^{ns}	1329,0416 ^{ns}	0,9507*	27,2234 ^{ns}	107191,23*
Resíduo	11	0,1258	0,0014	0,0941	0,0773	0,0071	0,0026	0,2313	966,7575	1467,7077	0,2234	16,6780	7365,6780
Média		2,701	0,278	1,853	1,515	0,374	0,285	2,220	96,333	71,558	2,291	18,541	323,708
CV(%)		13,13	13,50	16,55	18,35	22,62	18,17	21,65	32,27	53,53	20,62	22,02	26,51

¹Valores expressos em Quadrados Médios.

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Médias expressas em dag/kg para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cl) e mg/kg para micronutrientes (Fe, B, Cu, Zn, Mn).

Tabela 3: Resumo da análise de variância, em blocos ao acaso, do teor (concentração) de macronutrientes minerais na raiz¹.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Blocos	1	0,0176	0,0002	0,0002	0,0001	0,0155	0,0002	0,0104	161212,0416	4,6816	1,0416	7176,0416	30745,0416
Tratamentos	11	0,2801*	0,0084**	0,3048**	0,0327*	0,0442**	0,0104**	0,1949*	763715,3750**	40,7286 ^{ns}	1664,3750 ^{ns}	22224,1325**	225128,4916**
Resíduo	11	0,0706	0,0008	0,0223	0,0048	0,0090	0,0023	0,0495	164224,8598	17,8625	656,8598	3531,7689	47818,9507
Média		1,698	0,262	1,560	0,385	0,379	0,411	1,754	1849,125	18,775	60,875	151,708	897,703
CV(%)		15,64	10,89	9,58	18,04	25,00	11,76	12,68	21,91	22,51	42,10	39,17	24,35

¹Valores expressos em Quadrados Médios.

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Médias expressas em dag/kg para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cl) e mg/kg para micronutrientes (Fe, B, Cu, Zn, Mn).

Tabela 4: Resumo da análise de variância, em blocos ao acaso, do teor (concentração) de macronutrientes minerais no bulbo¹.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Blocos	1	0,4347	0,0016	0,0010	0,0793	0,0280	0,0060	0,3266	3577,0416	29,0400	3,3750	416,666	5551,0416
Tratamentos	11	3,5140**	0,0552**	0,3176**	0,3377**	0,0570**	0,0144 ^{ns}	0,5807 ^{ns}	24958,7689*	53,1280*	10,4962*	2758,2575**	10045,8295**
Resíduo	11	0,6996	0,0107	0,0694	0,0385	0,0035	0,0071	0,2784	6297,7689	12,7627	2,3750	294,0303	1060,9507
Média		3,435	0,470	1,880	1,062	0,452	0,307	2,458	198,708	23,258	6,291	61,083	130,625
CV(%)		24,34	22,05	14,01	18,43	13,07	27,40	21,46	39,93	16,36	24,49	28,07	24,93

¹Valores expressos em Quadrados Médios.

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Médias expressas em dag/kg para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cl) e mg/kg para micronutrientes (Fe, B, Cu, Zn, Mn).

Tabela 5: Resumo da análise de variância, em blocos ao acaso, do acúmulo (conteúdo) de nutrientes minerais na folha¹.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Blocos	1	0,0891	0,0007	0,0231	0,0031	0,0000	0,0004	0,0024	14,9815	9,4530	0,0007	0,0887	40,7007
Tratamentos	11	0,0396**	0,0006*	0,0329**	0,0299**	0,0021**	0,0006**	0,0476**	5,7713 ^{ns}	37479,4380 ^{ns}	0,0070**	0,1637 ^{ns}	147,1717**
Resíduo	11	0,0049	0,0002	0,0070	0,0048	0,0004	0,0001	0,0048	4,7159	4,5180	0,0013	0,0862	13,1737
Média		0,455	0,048	0,327	0,268	0,064	0,049	0,386	0,175	0,119	0,004	0,032	0,508
CV(%)		14,85	25,63	25,61	25,94	29,72	21,14	18,63	41,21	56,71	27,29	28,83	22,60

¹Valores expressos em Quadrados Médios. O acúmulo (conteúdo) de cada nutriente mineral foi obtido pela multiplicação do teor (concentração) na folha pela matéria seca da folha.

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Médias expressas em g para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cl) e mg para micronutrientes (Fe, B, Cu, Zn, Mn).

Tabela 6: Resumo da análise de variância, em blocos ao acaso, do acúmulo (conteúdo) de macronutrientes minerais na raiz¹.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Blocos	1	0,0203	0,0005	0,0105	0,0009	0,0024	0,0006	0,0068	433,2331	0,1173	0,3074	28,8871	459,4105
Tratamentos	11	0,0160**	0,0006**	0,0244**	0,0022**	0,0026**	0,0011**	0,0277**	31822,309**	0,2427*	7,7268 ^{ns}	39,8157**	1517,4828**
Resíduo	11	0,0016	0,0001	0,0033	0,0004	0,0004	0,0002	0,0027	618,2354	0,0795	3,1703	4,8116	140,3872
Média		0,283	0,046	0,274	0,070	0,068	0,072	0,310	3,305	0,033	0,111	0,246	1,636
CV(%)		13,58	15,95	21,06	26,98	28,24	20,55	16,82	23,71	27,18	50,72	28,70	22,90

¹Valores expressos em Quadrados Médios. O acúmulo (conteúdo) de cada nutriente mineral foi obtido pela multiplicação do teor (concentração) na raiz pela matéria seca da raiz.

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Médias expressas em g para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cl) e mg para micronutrientes (Fe, B, Cu, Zn, Mn).

Tabela 7: Resumo da análise de variância, em blocos ao acaso, do acúmulo (conteúdo) de macronutrientes minerais no bulbo¹.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Blocos	1	0,0295	0,0019	0,0172	0,0103	0,0039	0,0014	0,0486	1,6033	0,7328	0,0004	4,3592	31,7656
Tratamentos	11	0,0918 ^{ns}	0,0016**	0,0411*	0,0207**	0,0030**	0,0010*	0,0588*	481,4140**	0,6135**	0,0349**	4,6897**	37,0561**
Resíduo	11	0,0327	0,0002	0,01	0,0025	0,0004	0,0003	0,0184	8,2657	0,1297	0,0078	0,6406	4,4491
Média		0,588	0,080	0,341	0,196	0,081	0,055	0,446	0,337	0,042	0,011	0,101	0,226
CV(%)		31,34	19,20	29,28	25,56	23,58	31,20	30,44	27,17	27,29	25,39	25,12	29,51

¹Valores expressos em Quadrados Médios. O acúmulo (conteúdo) de cada nutriente mineral foi obtido pela multiplicação do teor (concentração) no bulbo pela matéria seca do bulbo.

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Médias expressas em g para macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cl) e mg para micronutrientes (Fe, B, Cu, Zn, Mn).

ANEXOS - CAPÍTULO II:

Ensaio 1: avaliação de misturas de substratos

Tabela 1: Resumo da análise de variância das características fitotécnicas em mudas de macaúba cultivadas em diferentes substratos.

FV ¹	GL ²	NFP ³ (und.)	NFL ⁴ (und.)	CPA ⁵ (cm)	CRA ⁶ (cm)	DCO ⁷ (mm)	MSP ⁸ (g)	MSR ⁹ (g)	VIG ¹⁰ (1 a 5)
.....Quadrado Médio.....									
Tratamentos	6	0,25*	0,06 ^{ns}	367,13**	215,73 ^{ns}	11,05 ^{ns}	10,37**	54,24**	0,13*
Resíduo	21	0,07	0,03	42,87	102,04	8,02	1,60	4,33	0,41
Média		1,29	2,46	34,71	40,85	10,96	3,78	5,44	2,21
CV(%)		20,80	7,48	18,86	24,72	25,84	33,31	38,23	9,21

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Dados: 1.Fonte de Variação; 2.Graus de liberdade; 3. Número de folhas penadas (definitivas); 4. Número de folhas lanceoladas (bipartidas); 5. Comprimento da parte aérea; 6. Comprimento da raiz; 7. Diâmetro do bulbo; 8. Massa de matéria seca da parte aérea; 9. Massa de matéria seca da raiz; 10. Vigor (medido por escala de notas: 1=menor e 5 =maior).

OBS: NFP, NFL e VIG os valores originais dados foram transformados segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Ensaio 2: avaliação de doses de calcário e fósforo no substrato

Tabela 2: Resumo da análise de variância das características fitotécnicas em mudas de macaúba cultivadas com diferentes doses de calcário e fósforo no substrato.

FV ¹	GL ²	NFP ³ (und.)	NFL ⁴ (und.)	CPA ⁵ (cm)	CRA ⁶ (cm)	DCO ⁷ (mm)	MSP ⁸ (g)	MSR ⁹ (g)	VIG ¹⁰ (0 a 5)
.....Quadrado Médio.....									
Blocos	3	0,16	0,05	290,51	82,45	10,83	33,08	43,32	0,11
DC ¹¹	3	0,13*	0,05*	68,80 ^{ns}	19,4 ^{ns}	8,73 ^{ns}	16,20 ^{ns}	25,67 ^{ns}	0,02 ^{ns}
DP ¹²	3	0,08 ^{ns}	0,03 ^{ns}	172,62*	32,28 ^{ns}	0,63 ^{ns}	38,83 ^{ns}	39,05*	0,05 ^{ns}
Int. (DCxDP)	9	0,21**	0,03*	113,19*	73,96 ^{ns}	8,15 ^{ns}	42,22 ^{ns}	18,32 ^{ns}	0,08**
Resíduo	45	0,05	0,01	45,33	50,10	5,46	41,58	9,83	0,03
Média		1,45	2,54	31,76	44,49	11,91	6,26	6,87	2,21
CV(%)		19,17	4,95	21,19	15,90	19,61	102,90	45,58	7,15

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Dados: 1.Fonte de Variação; 2.Graus de liberdade; 3. Número de folhas penadas (definitivas); 4. Número de folhas lanceoladas (bipartidas); 5. Comprimento da parte aérea; 6. Comprimento da raiz; 7. Diâmetro do bulbo; 8. Massa de matéria seca da parte aérea; 9. Massa de matéria seca da raiz; 10. Vigor (medido por escala de notas variando de 1 a 5); 11. Dose de Calcário; 12. Dose de Fósforo.

OBS: NFP, NFL e VIG os valores originais foram transformados segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

Ensaio 3: avaliação da frequência de adubação de cobertura com N, K e Mg

Tabela 3: Resumo da análise de variância das características fitotécnicas de mudas de macaúba cultivadas em função da frequência de adubação de cobertura.

FV ¹	GL ²	NFP ³ (und.)	NFL ⁴ (und.)	CPA ⁵ (cm)	MSP ⁶ (g)	MSR ⁷ (g)	VIG ⁸ (nota 1 a 5)
.....Quadrado Médio.....							
Tratamentos	3	0,03 ^{ns}	0,21**	763,95**	79,62*	79,85 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	36	0,04	0,04	59,16	24,85	43,58	0,01
Média		1,72	2,07	56,82	17,97	19,45	2,35
CV(%)		11,38	10,22	13,53	27,74	33,93	5,17

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Dados: 1.Fonte de Variação; 2.Graus de liberdade; 3. Número de folhas penadas (definitivas); 4. Número de folhas lanceoladas (bipartidas); 5. Comprimento da parte aérea; 6. Massa de matéria seca da parte aérea; 7. Massa de matéria seca da raiz; 8. Vigor (medido por escala de notas variando de 1 a 5).

OBS: para NFP, NFL e VIG os valores originais foram transformados segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.

ANEXOS - CAPITULO III:

Tabela 1: Resumo da análise de variância das características fitotécnicas em 3 acessos de macaúba, sob 5 doses de N e K em adubação de cobertura, durante 2 anos ao nível de campo.

FV	GL	ALTURA(cm)	Nº FOLHAS ¹ (und)	VIGOR ² (nota 1 a 5)
		.....Quadrado médio.....		
Blocos	2	4249,0573	0,0382	0,0906
Parcela (doses de N e K)	4	9703,1266*	0,1714 ^{ns}	0,2482*
Erro a	8	1468,9680	0,0604	0,0316
Subparcela (acessos)	2	18576,6544**	0,1909*	0,2495*
Interação (dose x acesso)	8	379,9734 ^{ns}	0,5331*	0,0168 ^{ns}
Erro b	20	777,0694	0,1953	0,0079
Média		185,49	3,24	2,09
CV(%) na parcela		20,66	7,60	8,50
CV(%) na subparcela		15,03	4,31	4,26

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{ns} não-significativo.

^{1 e 2}Valores transformados para seguir distribuição normal segundo equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.