

OTTO HERBERT SCHUHMACHER DIETRICH

**ÉPOCA DE AMOSTRAGEM FOLIAR E EFEITO DE DOSES DE
NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS ADULTAS DE MACAÚBA**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

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

T

D566e
2017

Dietrich, Otto Herbert Schuhmacher, 1988-
Época de amostragem foliar e efeito de doses de nitrogênio
e potássio em plantas adultas de macaúba / Otto Herbert
Schuhmacher Dietrich. – Viçosa, MG, 2017.
ix,79f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Leonardo Duarte Pimentel.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Acrocomia aculeata*. 2. Nutrição mineral. 3. Diagnose
foliar. 4. Produtividade. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.85

OTTO HERBERT SCHUHMACHER DIETRICH

**ÉPOCA DE AMOSTRAGEM FOLIAR E EFEITO DE DOSES DE
NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS ADULTAS DE MACAÚBA**

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

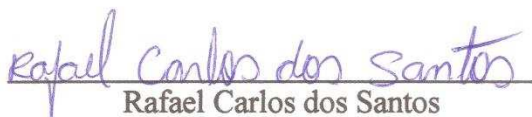
APROVADA: 25 de julho de 2017.



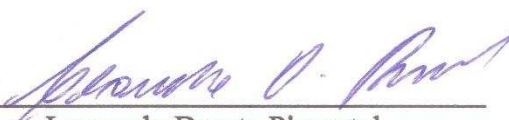
Igor Rodrigues de Assis
(Coorientador)



Kaciêda Naomi Kuki
(Coorientadora)



Rafael Carlos dos Santos



Leonardo Duarte Pimentel
(Orientador)

Aos meus pais Ruth e Arno Dietrich,
ao meu irmão Walter Dietrich,
à minha esposa Márcia Adriana,
e ao meu filho Oliver Dietrich.

DEDICO

“Tudo posso naquele que me fortalece” (Filipenses 4.13).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por todo o caminho que me tem conduzido.

À minha família por todo o apoio que sempre me proporcionaram.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia pela estrutura e oportunidade do curso de mestrado.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo pela liberação do trabalho para qualificação profissional.

Ao professor Leonardo Duarte Pimentel pela orientação, apoio, exemplo profissional e amizade.

Aos professores Igor Rodrigues de Assis e Paulo Roberto Cecon e à pesquisadora Kacilda Naomi Kuki, pela compreensão e orientação.

Aos chefes e colegas de trabalho do Instituto Federal do Espírito Santo, Anderson Holtz, Tadeu Rosa, Patrícia Furno, Robson Prucoli, Petterson Teixeira, Sheila Potratz e Carlos Eduardo.

Aos colegas dos grupos de pesquisa REMAPE e Sorgo, pela colaboração nos trabalhos e compartilhamento de conhecimentos.

Aos funcionários da Estação Experimental de Araponga-MG, pela valiosa ajuda nas atividades de campo.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas e Pós-colheita da Macaúba pela ajuda nas análises químicas.

Aos colegas de minha antiga república Geovani Copati, Guilherme Pimentel, Jeferson Luiz, João Paulo e Paulo Henrique.

E a todos que de certa forma colaboraram para a obtenção do título de mestre pelo Programa de Pós-graduação em Fitotecnia.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

OTTO HERBERT SCHUHMACHER DIETRICH, filho de Arno Dietrich e Ruth Ana Schuhmacher Dietrich, nasceu em 28 de abril de 1988 na cidade de Resplendor-MG.

Em 2008 graduou-se em Tecnologia em Gestão Ambiental pela Universidade Presidente Antônio Carlos.

Em 2015, graduou-se em Agronomia no Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina.

Em agosto de 2015 ingressou no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia em nível de mestrado, defendendo sua dissertação e obtendo o título de *Magister Scientiae* em julho de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REVISÃO DE LITERATURA	4
1. Macaúba: aspectos gerais.....	4
2. Nutrição mineral na cultura da macaúba	5
3. Diagnose foliar na nutrição mineral.....	6
4. Diagnose foliar na cultura da macaúba.....	7
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9
 CAPÍTULO I - VARIAÇÃO SAZONAL DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE MACAÚBA E DEFINIÇÃO DE ÉPOCA DE AMOSTRAGEM	 14
INTRODUÇÃO	16
MATERIAL E MÉTODOS	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
 CAPÍTULO II - EFEITO DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS ADULTAS DE MACAÚBA	 49
INTRODUÇÃO	53
MATERIAL E MÉTODOS	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 78

RESUMO

DIETRICH, Otto Herbert Schuhmacher, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Época de amostragem foliar e efeito de doses de nitrogênio e potássio em plantas adultas de macaúba.** Orientador: Leonardo Duarte Pimentel. Coorientadores: Igor Rodrigues de Assis, Kacilda Naomi Kuki e Paulo Roberto Cecon.

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira oleífera de grande dispersão natural no Brasil. Diversos estudos vêm contribuindo para a viabilização de cultivos agrícolas desta espécie, como na área de propagação, melhoramento genético, colheita e pós-colheita e desenvolvimento de práticas culturais. Contudo, muitos aspectos nutricionais da macaúba ainda são pouco conhecidos, como as exigências nutricionais, metodologia de avaliação do estado nutricional e o efeito de adubações nas diferentes fases de desenvolvimento da planta. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a variação sazonal dos teores foliares de nutrientes minerais e indicar época para amostragem e interpretação do estado nutricional de macaúba e, avaliar o efeito de doses de nitrogênio e potássio em três acessos de macaúba no início do estágio reprodutivo (sexto e sétimo anos). Para isso, foram realizados dois experimentos com plantas adultas de macaúba cultivadas. No primeiro experimento foram avaliados os teores foliares de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn) em 12 épocas de amostragem (janeiro a dezembro de 2016). Dentre os macronutrientes, apenas o Mg não apresentou variação sazonal significativa. Em relação aos micronutrientes, houve variação sazonal para o Mn e o Fe. A técnica de otimização de Tocher separou as épocas de amostragem em quatro grupos, sendo o maior grupo de estabilidade das variações dos nutrientes representado pelas épocas de amostragem de março, abril, maio, junho e julho. Existem variações sazonais nos teores de N, P, K, Ca, S, Mn e Fe nas folhas de macaúba e a amostragem foliar deve ser realizada no período de maio e junho, período com menores variações sazonais, menor influência de déficit ou excesso de chuvas e demanda de órgãos em formação (drenos). No segundo experimento foi avaliado o efeito de cinco doses de NK (0, 250, 500, 750 e 1000 g/planta) na proporção de 0,42 de N (uréia) e 0,58 de K (KCl), em três acessos de macaúba originários de diferentes regiões de Minas Gerais (BGP 7, BGP 9 E BGP 15) durante dois anos de avaliação (sexto e sétimo anos). Foram avaliadas características

vegetativas, características produtivas e teores foliares de N e K. Não foi observado efeito de interação tripla entre os fatores. Houve interação dupla apenas entre os fatores dose e ano para as características número de espatas emitidas, número de cachos, massa de raque, massa de frutos e número de frutos por planta e teores foliares de N e K, e entre os fatores acesso e ano para as características número de espatas emitidas e massa média da raque. Para características vegetativas observaram-se ganhos positivos em função da dose e máximas respostas próximas da maior dose aplicada. Para a maioria das características produtivas observou-se maiores ganhos no sétimo ano após o plantio. A macaúba é responsiva à adubação nitrogenada e potássica, com maior produtividade de frutos na dose de 757,64 g/planta de NK. Os acessos de macaúba apresentam efeitos diferenciados em relação às doses de NK, sendo o acesso BGP 15 superior aos demais.

ABSTRACT

DIETRICH, Otto Herbert Schuhmacher, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Leaf sampling time and effect of nitrogen and potassium rates on adult macaw palm plants.** Adviser: Leonardo Duarte Pimentel. Co-advisers: Igor Rodrigues de Assis, Kacilda Naomi Kuki and Paulo Roberto Cecon.

The macaw palm (*Acrocomia aculeata*) is a nature oil palm common in Brazil. Several studies have contributed to the cultivation of this species, such as propagation, genetic improvement, harvesting, post harvesting and the development of cultural practices. However, the nutritional aspects of macaw palm are still poorly understood, such as nutritional requirements, nutritional status assessment methodology and the effect of fertilization on the different stages of plant development. Therefore, this study aimed to evaluate the seasonal variation of leaf nutrient contents; to indicate the right season for the evaluation of nutritional status of macaw palm and to evaluate the effect of nitrogen and potassium rates in three accessions of macaw palm at the beginning of the reproductive stage (sixth and seventh years). To achieve this objective, two experiments were carried out with cultivated adult macaw palm plants. The leaf content of macro (N, P, K, Ca, Mg and S) and micronutrients (Cu, Mn, Fe and Zn) from composed samples of leaflets collected from the middle part of the tenth leaf were evaluated in 12 sampling periods (January to December 2016). Among the macronutrients, only Mg did not present significant seasonal variation. Among micronutrients, only Mn and Fe showed significant seasonal variation. The Tocher optimization technique separated the sampling times into four groups, being the largest stability group of nutrient variations represented by the sampling periods of March, April, May, June and July. There are seasonal variations in the levels of N, P, K, Ca, S, Mn and Fe in macaw palm leaves and leaf sampling should be performed in the period of May and June, period with less influence of deficit or excess of Rains and demand for organs in formation. In the second experiment, we evaluated the effect of five rates of NK (0, 250, 500, 750 and 1000 g/plant) in the ratio of 0.42 N (urea) and 0.58 K (KCl) in three accessions (BGP 7, BGP 9 and BGP 15) during two years of evaluation (sixth and seventh years). Vegetative characteristics, productive characteristics and foliar contents of N and K were evaluated. Was not observed triple interaction between the factors, but there was a double interaction only between the rates and year factors for

the number of spatters emitted, number of bunches, root mass, fruit mass and number of fruits per plant and leaf contents of N and K, and also between access and year factors for the number of spatters emitted and the mean mass of the rake. For vegetative characteristics, positive gains were observed as a function of the rates and maximum responses close to highest rates applied. For most of the productive characteristics, greater gains were observed in the seventh year after planting. The macaw palm responds to nitrogen and potassium fertilization, with a higher yield of fruits at a rates of 757.64 g/plant NK. Macaw palm accesses have different effects in relation to NK rates, and BGP 15 access is superior to the others.

INTRODUÇÃO GERAL

O interesse mundial na substituição, parcial ou total, de combustíveis fósseis por fontes mais sustentáveis vem alavancando a demanda por biocombustíveis, derivados de biomassa. O cultivo de plantas oleaginosas tem destaque na agricultura mundial, com perspectiva de expansão da produção diante da busca por fontes de energia renováveis. Contudo, existe uma demanda da diversificação de culturas produtoras de óleo, principalmente que não entrem em conflito de interesse com a produção de alimentos, surgindo a oportunidade de cultivo de plantas ainda não domesticadas.

Nesse contexto, a macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] é uma espécie que tem despertado interesse de instituições de pesquisa e do setor agroenergético em função do seu potencial produtivo de óleo (CETEC, 1983; DREHER, 2009; PIRES et al., 2013). Além disso, o processamento gera uma gama de produtos e coprodutos de valor econômico e energético agregado (EVARISTO et al., 2016; JOSÉ et al., 2016), o que coloca esta espécie como planta promissora para a produção de biocombustíveis (MOTOIKE e KUKI, 2009; LANES et al., 2014).

A macaúba é uma palmeira pertencente à família Arecaceae, com ocorrência natural em toda América Tropical e de grande dispersão no território brasileiro, adaptada a diversos solos e ambientes (HENDERSON et al., 1995; MOTTA et al., 2002; TELES et al., 2011). Na última década, esta espécie encontra-se em fase de domesticação, em transição do extrativismo para a exploração em escala comercial.

Para que a cultura se estabeleça como matéria-prima na produção de biomassa torna-se imprescindível sua domesticação, com o aprimoramento de seu sistema de produção agrícola, estabelecendo cultivos racionais em maior escala e de modo competitivo. Diversos estudos vêm contribuindo para a viabilização de cultivos agrícolas da macaúba, como os referentes à propagação da espécie (MOTOIKE et al., 2007), melhoramento genético (MANFIO et al., 2011; MANFIO et al., 2012; LANES et al., 2014), colheita e pós-colheita (GOULART, 2014; EVARISTO et al., 2016; JOSÉ et al., 2016) e desenvolvimento de práticas culturais e adubação (PIMENTEL et al., 2011; PIMENTEL et al., 2016). Contudo, muitos aspectos importantes à nutrição mineral da macaúba ainda são pouco conhecidos, como as exigências nutricionais, metodologia de avaliação do estado nutricional e o efeito de adubações nas diferentes fases de desenvolvimento da planta.

Uma importante ferramenta utilizada na avaliação do estado nutricional de plantas é a análise foliar, uma vez que existe uma correlação entre o crescimento vegetativo ou produção e os teores foliares (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). O uso de teores foliares para diagnóstico do estado nutricional das culturas exige rigor no momento da amostragem, uma vez que as concentrações dos nutrientes nas folhas sofrem variações, demandando assim, conhecimento de uma época específica para a sua coleta (MALAVOLTA et al., 1997).

A determinação de uma época de amostragem foliar adequada depende do estudo das variações sazonais dos teores foliares dos nutrientes, com a escolha de um período de maior estabilidade das variações sazonais dos nutrientes, dependendo de estudos específicos para cada nutriente e para cada cultura, uma vez que as variações podem ser fortemente influenciadas pelos mecanismos de absorção e translocação (MALAVOLTA et al., 1997).

Em outras palmáceas cultivadas, as épocas de amostragem já são conhecidas. Para o coqueiro, deve ser realizada no início da estação seca (FRÉMOND et al., 1966) e para o dendezeiro, no período menos chuvoso, no mínimo 3-4 meses após aplicação dos adubos (RODRIGUES et al., 2006). Amostragens foliares realizadas fora desse período recomendado para as culturas podem levar a falsas conclusões do real estado nutricional das plantas. Entretanto, para a macaúba ainda não existe uma recomendação de época de amostragem foliar específica, podendo esta informação gerar grande avanço na diagnose foliar da cultura.

Quanto às exigências nutricionais, a macaúba tem se mostrado responsiva a adubação nas fases de produção de mudas e crescimento inicial das plantas em campo (SANTOS, 2015; PIMENTEL et al., 2015; PIMENTEL et al., 2016). No entanto, estudos das exigências nutricionais da macaúba na fase de produção são ainda incipientes, pois demandam experimentos e/ou cultivos racionais instalados e conduzidos por anos, os quais iniciam sua produção a partir do quinto ano de cultivo.

O adequado manejo da adubação tem como princípio básico elevar o nível de fertilidade do solo até uma condição ótima para o desenvolvimento da cultura (CANTARUTTI et al., 2007). As recomendações são baseadas no cálculo resultante da diferença entre a exigência dos nutrientes pela cultura e a capacidade de fornecimento dos mesmos pelo solo (MALAVOLTA et al., 1997).

As adubações das palmáceas cultivadas na fase de produção se caracterizam por grande reposição dos nutrientes, principalmente nitrogênio e potássio (SOBRAL,

1998; VIÉGAS e BOTELHO, 2000). Estudos tem demonstrado que o nitrogênio e o potássio são os nutrientes de maior extração e exportação pela macaúba (PIMENTEL, 2012; SANTOS, 2015), similar ao observado para outras palmeiras cultivadas, o que demanda maior aprofundamento na avaliação dos efeitos da fertilização com os dois nutrientes, sobretudo na fase adulta da planta, já com produção de frutos.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a variação sazonal dos teores foliares de nutrientes minerais e indicar época para amostragem e interpretação do estado nutricional de macaúba e, avaliar o efeito temporal de doses de nitrogênio e potássio em plantas adultas de macaúba de diferentes origens.

REVISÃO DE LITERATURA

1. Macaúba: aspectos gerais

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] é uma espécie pertencente à família Arecaceae, de porte arbóreo. Alguns autores sugerem a subdivisão de três subespécies, ou ecótipos, dentro da espécie *Acrocomia aculeata*: *A. aculeata* subesp. *totali* e *A. aculeata* subesp. *Intumescens* e *A. aculeata* subesp. *sclerocarpa*, sendo esta última a subespécie que apresenta frutos maiores e maior potencial oleífero (LORENZI, 2006; PIMENTEL et al., 2011).

Esta palmeira oleífera tem origem na América Tropical e é encontrada espontaneamente em quatro biomas brasileiros: Cerrado, Mata Atlântica, Floresta Amazônica e Pantanal, com maior ocorrência de populações naturais em áreas de vegetação aberta com alta incidência solar e solos de textura média. Esta ampla distribuição no continente sul-americano sinaliza elevada adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas (MOTOIKE et al., 2013).

O potencial produtivo de óleo da macaúba pode ser comparado ao do dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.), porém o cultivo da macaúba apresenta a vantagem de adaptação a condições edafoclimáticas diversas, enquanto o cultivo de dendezeiro está restrito a regiões de baixa latitude, exigindo temperaturas médias anuais altas, baixa amplitude térmica e precipitação anual em torno de 2000 mm (FURLAN JÚNIOR, 2006; MOTA et al., 2011; PIMENTEL et al., 2011).

A macaúba também apresenta vantagens quando comparadas às oleaginosas anuais, como alta produtividade de óleo, coprodutos de alto valor agregado (farelo protéico e endocarpo para energia), rusticidade, ampla adaptabilidade e viabilidade técnico-econômica (PIMENTEL et al., 2011; EVARISTO et al., 2016), além da possibilidade de cultivo em sistemas agrossilvopastoris (DIAS et al., 2011; VIANA et al., 2011; CARDOSO et al., 2017) e geração de créditos de carbono. Mas o cultivo da macaúba também apresenta limitações, com destaque para o fato de a cultura estar em fase de domesticação, com programas de melhoramento genético gerando os primeiros resultados em meio a uma grande variabilidade genética da espécie (MANFIO et al., 2012).

2. Nutrição mineral na cultura da macaúba

A palmeira macaúba vem sendo apresentada como uma boa alternativa de matéria-prima para a indústria energética por apresentar características de rusticidade, sendo relatado tolerância a seca e a queimadas, além de adaptabilidade a diversos solos e ambientes (MOTTA et al., 2002; COSTA, 2009; TELES et al., 2011).

Porém os trabalhos que afirmam tais características se fundamentam em estudos de características edafoclimáticas das regiões de ocorrência natural da palmeira, como o de Motta et al. (2002) para o estado de Minas Gerais, Costa (2009) para o estado de São Paulo e Teles et al. (2011) para Goiás. Ainda há grande lacuna de conhecimento proveniente de estudos avaliando o desempenho produtivo em resposta à correção de solo e adubação da cultura da macaúba em situação de cultivo racional.

Um cultivo racional, ou seja, a implantação e condução de uma cultura visando produção rentável, necessita de atenção e aprimoramento em suas tecnologias de manejo, principalmente quanto aos aspectos ligados à nutrição, calagem e adubação. Para Cantarutti et al. (2007), a adubação tem como princípio básico elevar o nível de fertilidade do solo até uma condição ótima para o desenvolvimento da cultura.

Pimentel et al. (2011), de forma pioneira, lançaram a primeira aproximação da recomendação de adubação e calagem para o cultivo de macaúba, baseada em estudos relacionados à nutrição mineral da cultura e correlações com recomendações para outras palmáceas já cultivadas comercialmente, como o dendezeiro (*Elaeis guineenses*) e o coqueiro (*Cocos nucifera*).

A geração de dados e subsídios para as bases da adubação e cultivo da macaúba até o momento foram através de estudos de avaliação de substratos, calagem, fosfatagem e adubação de cobertura para produção de mudas (PIMENTEL et al., 2016) e da resposta da macaúba à adubação nitrogenada e potássica na fase vegetativa juvenil da palmeira (PIMENTEL et al., 2015; SANTOS, 2015). Estudos das exigências nutricionais da macaúba na fase de produção são ainda mais escassos, pois demandam experimentos e/ou cultivos racionais instalados e conduzidos por anos, os quais atingem produtividades estáveis de frutos ao final de uma década de condução. Santos (2015) estudou o acúmulo e a exportação de nutrientes de macaúba em plantas adultas e produtivas, ainda em um maciço de ocorrência natural, estudo

que permitiu calcular a exportação de nutrientes por tonelada de frutos produzida e uma primeira observação da demanda nutricional da macaúba em sua fase reprodutiva.

Para ajustes da primeira recomendação de adubação para a cultura da macaúba, proposta por Pimentel et al. (2011), e o aprimoramento do manejo nutricional da cultura, mostra-se necessária a continuidade dos estudos supracitados e implantação de novos experimentos visando a melhor avaliação nutricional da cultura, contribuindo para o desenvolvimento da cadeia produtiva da macaúba.

3. Diagnose foliar na nutrição mineral

Em um programa de adubação, a quantidade recomendada de cada nutriente 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). Diante disso, é fundamental a avaliação do estado nutricional das plantas, através da realização de análise foliar, junto à análise de solo e ao conhecimento agrônomo da cultura, principalmente para culturas perenes.

A avaliação do estado nutricional das plantas consiste em fazer uma comparação entre uma amostra da população de interesse e um padrão, no caso específico da diagnose foliar, entre os teores foliares de uma amostra referencial (MALAVOLTA et al., 1997; MALAVOLTA, 2006; FONTES, 2016).

A diagnose foliar é um método de avaliação do estado nutricional das culturas em que se analisam determinadas folhas em um período do ano ou estágio fenológico da planta já definidos. O motivo pelo qual a folha é o tecido vegetal mais utilizado para esse fim é de ser o órgão que melhor reflete o estado nutricional da cultura (MALAVOLTA, 2006).

A análise foliar tem sido amplamente usada na diagnose do estado nutricional das culturas e baseia-se no fato de existir uma correlação direta entre a taxa de crescimento ou de produção e os teores de nutrientes nos seus tecidos (JONES et al., 1990; MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Dessa correlação são estabelecidos valores para os teores de nutrientes que correspondem às mudanças em termos de crescimento ou produção. Esses pontos representam níveis críticos e

delimitam faixas de concentração relacionadas às deficiências nutricionais, aos níveis adequados ou a toxidez de minerais (MALAVOLTA et al., 1997).

Uma amostragem de tecido vegetal mais adequada para fins de avaliação nutricional é aquela que represente o melhor possível a planta a ser avaliada, sendo que no uso de folhas é importante identificar os principais fatores que influenciam na concentração dos elementos na planta, como por exemplo, número de folhas e plantas a serem amostradas, idade e posição da folha no ramo e na copa da planta, crescimento vegetativo e desempenho da frutificação, genótipo, tipo de solo, práticas culturais (EVANS, 1979; AMARAL et al., 2002; PRADO e NATALE, 2004; LIMA et al., 2007; ROZANE et al., 2007; LIMA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2010) e, com destaque, a época de amostragem foliar (AMARAL et al., 2002; LIMA et al., 2007; LIMA et al., 2008; MAIA, 2012).

4. Diagnose foliar na cultura da macaúba

A diagnose foliar vem tendo diversos usos e aplicações na cultura da macaúba, como diagnose de sintomas visuais de deficiência nutricional, levantamento de estado nutricional das plantas, indicação de exigências nutricionais diferentes entre genótipos e determinação ou ajustes nas doses de adubos (TELES et al., 2008; PIMENTEL, 2012; PIRES et al., 2013; PIMENTEL et al., 2015; SANTOS, 2015).

A amostragem de folhas para diagnose nutricional na macaúba deve ser realizada coletando apenas os folíolos, os quais possibilitam uma melhor avaliação do estado nutricional, além da maior praticidade operacional na amostragem e de ser menos invasiva às plantas (SANTOS, 2015). A coleta dos folíolos deve ser realizada no terço mediano das folhas, região com tecidos vegetais de maior atividade fisiológica (PIRES et al., 2013).

Teores de nutrientes (N, P, K, Mg e Fe) nas folhas de plantas de 2,5 anos são relativamente estáveis e os tecidos com maior atividade fisiológica na copa da palmeira jovem estão nos folíolos do terço mediano da segunda e da terceira folha (PIRES et al., 2013).

A recomendação de amostragem foliar para plantas jovens ainda não é conhecida, mas a partir das conclusões de Pires et al. (2013) pode-se recomendar a amostragem foliar em macaúbas jovens entre a segunda e a terceira folha. Contudo, a

amostragem foliar para diagnóstico do estado nutricional de plantas adultas de macaúba deve ser realizada entre a nona e a décima terceira folha (SANTOS, 2015).

O preparo final das amostras foliares é realizado dispensando as porções basais e apicais dos folíolos, realizando as análises químicas minerais de tecido vegetal apenas da porção mediana dos folíolos, semelhante ao recomendado para o dendezeiro (RODRIGUES et al., 2006) e para o coqueiro (FRÉMOND et al., 1966; SOBRAL e DOS SANTOS, 1987).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, J. F. T.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; CRUZ, C. D.; GODOY, C. L.; CAIXETA, S. L. Determination of leaf sampling techniques to assess the nutritional status of Barbados cherry (*Malpighia emarginata* D.C.). **Fruits**, v. 57, p. 161-171, 2002.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 769-850, 2007.
- CARDOSO, A., LAVIOLA, B. G., SANTOS, G. S., DE SOUSA, H. U., DE OLIVEIRA, H. B., VERAS, L. C.; FAVARO, S. P. Opportunities and challenges for sustainable production of *A. aculeata* through agroforestry , p. systems. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 573-580, 2017.
- Centro Tecnológico de Minas Gerais / Ministério Indústria e Comércio (CETEC-MG). **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais (VI)**: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. Belo Horizonte: Relatório Final Convênio STI-MIC-CETEC. 1983. 152 p.
- COSTA, C. F. **Solos e outros fatores ambientais associados à diversidade fenotípica de macaúba no estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2009. 68 p.
- DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y.; OLIVEIRA NETO, S. N.; MORAIS, T. C.; FREIRE, -A.; BENTO, S. Cultivo da macaúba: ganhos ambientais em áreas de pastagens. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 32, n. 265, p. 52-60, 2011.
- DREHER, F. **Promising South American Oil Palm *Acrocomia Ttai Mart.*: Current Staus and Future Prospects**. Thesis (Dctor Science in Agricultural Economics) – Hochschule fur Wirtschaft und Umwelt, Fakultat 2, Nurtinger-Geislinger, Germany. 2009. 62 p.
- EVANS, J. The effects of leaf position and age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. **Plant and Soil**, v.52, p.547–552, 1979.
- EVARISTO, A. B., GROSSI, J. A. S., CARNEIRO, A. D. C. O., PIMENTEL, L. D., MOTOIKE, S. Y., KUKI, K. N. Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, v.85, p.18-24, 2016.
- FONTES, P. C. R. **Nutrição Mineral de plantas: anamnese e diagnose**. Ed. UFV, Viçosa, MG, 2016, 315p.
- FRÉMOND, Y.; ZILLER, R.; NUCÉ, D. L. **The coconut palm**. Berne: IPI, 1966. 267p.

- FURLAN JÚNIOR, J. **Biodiesel: por que tem que ser o dendê?** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 205p.
- GOULART, S.M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2014. 66 p.
- HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **Field guide to the palms of the Americas.** 1995.
- JONES, J. B.; ECK, H. V.; VOSS, R. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In: WESTERMAN, R. L. (Ed.). **Soil testing and plant analysis.** Madison: SSSA, p. 521-549. 1990.
- JOSÉ, C., EVARISTO, A. B., MARQUES, G., MARTÍN-RAMOS, P., MARTÍN-GIL, J., GUTIÉRREZ, A. Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. **Industrial Crops and Products**, v. 84, p. 294-304, 2016.
- LANES, E. C. M.; COSTA, P. M. A.; MOTOIKE, S. Y. Alternative fuels: Brazil promotes aviation biofuels. **Nature**, v. 511, n. 7507, p. 31-31, 2014.
- LIMA, R. L. S.; FERREIRA, G. B.; WEBER, O. B.; CAZETTA, J. O. Diagnose foliar da gravioleira (*Annona muricata* L.): efeito da posição de ramos e folhas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1320–1325, 2007.
- LIMA, R. L. S.; SIQUEIRA, D. L.; CAZETTA, J. O.; FERREIRA, G. B.; WEBER, O. B. Variação sazonal da concentração de macronutrientes em folhas de diferentes genótipos de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 29, n. 3, p. 652-656, 2007.
- LIMA, R. L. S.; SIQUEIRA, D. L.; FERREIRA, G. B.; WEBER, O. B.; CAZETTA, J. O.; LOPES, F. F. M. Variação sazonal de micronutrientes em folhas de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 869–874, 2008.
- LIMA, R. L. S. de; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. C. Posição da folha e estágio fenológico do ramo para análise foliar do pinhão-manso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 10, p. 1068-1072, 2011.
- 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, 2006. 156p.
- MAIA, C. E. Época de amostragem foliar para diagnóstico nutricional em bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 859-861, 2012.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações.** 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MANFIO, E. C.; MOTOIKE, S. Y.; SANTOS, C. E. M.; PIMENTEL, L. D.; QUEIROZ, V.; SATO, A. Y. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 70-76, 2011.
- MANFIO, E. C.; MOTOIKE, S. Y.; RESENDE, M. D. V.; SANTOS, C. E. M.; SATO, A. Y. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 63-69, 2012.
- MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants** (3 ed.) London: Academic Press, 2012. 651p.
- MOTOIKE, S. Y.; LOPES, F. A.; SÁ JUNIOR, A. Q.; CARVALHO, M.; OLIVEIRA, M. A. R. Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*. **Patente: PI0703180-7**. 2007.
- MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. The Potential of Macaw Palm(*Acrocomia aculeate*) as Source of Biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, n. 6, p. 632-635, 2009.
- MOTOIKE, S. Y.; CARVALHO, M.; PIMENTEL, L. D.; KUKI, K. N.; PAES, J. M. V.; DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y. **A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 61 p.
- MOTA, C. S.; CORRÊA, T. R.; GROSSI, J. A. S., CASTRICINI, A.; RIBEIRO, A. S. Exploração sustentável da macaúba para produção de biodiesel: colheita, pós-colheita e qualidade dos frutos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 32, n. 265, p. 41-51, 2011.
- MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Occurrence of macaúba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic, pedological and vegetation attributes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p. 1023-1031, 2002.
- PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; TEIXEIRA, C. M.; MOTOIKE, S. Y.; PEDROSO NETO, J. C. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1º aproximação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 32, n. 265, p. 20-30, 2011.
- PIMENTEL, L. D.; DIAS, L. A. dos S.; PAES, J. M. V.; SATO, A. Y.; MOTOIKE, S. Y. Diversidade no gênero *Acrocomia* e proporção de subdivisão da espécie *Acrocomia aculeata*. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 32, n. 265, p. 81-87, 2011.
- PIMENTEL, L. D.; MANFIO, E. C.; MOTOIKE, S. Y.; PAES, J. M. V.; BRUCKNER, C. H. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 32, n. 265, p. 61-69, 2011.

- PIMENTEL, L. D. **Nutrição Mineral da macaúba: bases para adubação e cultivo**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012. 115 p.
- PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C.H. ; MARTINEZ, H. E. P.; MOTOIKE, S. Y.; MANFIO, E. C.; SANTOS, RC. Effect of Nitrogen and Potassium Rates on Early Development of Macaw Palm. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1671-1680, 2015.
- PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MANFIO, E. C.; ; MOTOIKE, S. Y.; MARTINEZ, H. E. P. Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macaw palm seedling production. **Revista Árvore**, v. 40, p. 235-244, 2016.
- PIRES, T. P.; SOUZA, E. S., KUKI, K. N.; MOTOIKE, S.Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. Leaf Sampling in carambola trees. **Fruits**, v. 59, p. 281-289, 2004.
- RODRIGUES, M. D. R. L.; AMBLARD, P.; BARCELOS, E.; MACEDO, J. L. V.; CUNHA, R. N. V.; TAVARES, A. M. **Avaliação do estado nutricional do dendezeiro: análise foliar (reformulada)**. Comunicado Técnico, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, 2006.
- RODRIGUES, M. G. V.; PACHECO, D. D.; NATALE, W.; SILVA, J. T. A. Amostragem foliar da bananeira ‘Prata-Anã’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 321-325, 2010.
- ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; BARBOSA, J. C. Amostragem para diagnose do estado nutricional de mangueiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 371-376, 2007.
- SANTOS, R. C. **Aspectos nutricionais e resposta da macaúba a adubação com nitrogênio e potássio**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015. 85 p.
- SOBRAL, L. F.; DOS SANTOS, Z. G. **Sistema de recomendações de fertilizantes para o coqueiro (Cocos nucifera L.) com base na análise foliar**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1987.
- 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 ed., Brasília: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 129-157, 1998.
- TELES H. F.; RESENDE C. F. A.; LEANDRO W. M.; PIRES L. L.; TAVARES P. V. A.; SANTOS R. A. S. G. Teores de nutrientes em folhas de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em diferentes estádios fenológicos no cerrado goiano. In: **Anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado**; 12-17 out 2008; Brasília. ParlaMundi, Brasília, DF.

- TELES, H. F.; PIRES, L. L.; GARCIA, J.; ROSA, J. Q. S.; FARIAS, J. G.; NAVES, R.V. Ambientes de ocorrência natural de macaúba. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v, 41, n. 4, p. 595-601, 2011.
- VIANA, M C. M.; SILVA, E.A.; QUEIROZ, D. S.; PAES, M. V.; ALBERNAZ, W. M.; FRAGA, G. Cultivo da macaúba em Sistemas Agrossilvipastoris. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 32, n. 265, p. 70-80, 2011.
- VIÉGAS, I. J. M; BOTELHO, S. M. Nutrição mineral do dendezeiro. In: VIÉGAS, I J. M.; MULLER, A. A. (Ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 229-273, 2000. 374p.

CAPÍTULO I

VARIAÇÃO SAZONAL DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE MACAÚBA E DEFINIÇÃO DE ÉPOCA DE AMOSTRAGEM

Resumo - A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira de grande dispersão no Brasil que tem despertado interesse do setor agroenergético devido ao seu potencial oleífero, características de rusticidade e adaptabilidade a diferentes ambientes. Esta espécie encontra-se em fase de domesticação e início de cultivos racionais. A diagnose foliar pode contribuir para o correto manejo nutricional desta cultura, entretanto, depara-se com problemas relacionados à ausência de metodologias de amostragem. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a variação sazonal dos teores foliares de nutrientes minerais e indicar época para amostragem e interpretação do estado nutricional da macaúba. Foram avaliados os teores foliares de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn) de amostras compostas de folíolos coletados da parte mediana da décima folha em 12 épocas de amostragem (janeiro a dezembro de 2016). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott Knott, a 5% de significância para observação da variação sazonal dos teores foliares de cada nutriente avaliado. Para agrupar as épocas de amostragem de variações sazonais similares utilizou-se a distância de Mahalanobis e o método de otimização de Tocher. Houve variação sazonal significativa em 70% dos nutrientes. Dentre os macronutrientes, apenas o Mg não apresentou variação sazonal significativa. Em relação aos micronutrientes, houve variação sazonal para o Mn e o Fe. A técnica de otimização de Tocher separou as épocas de amostragem em quatro grupos, sendo o maior grupo de estabilidade das variações dos nutrientes representado pelas épocas de amostragem de março, abril, maio, junho e julho. As maiores contribuições relativas da variação sazonal para a expressão de grupos de épocas comuns de amostragem foram observadas para os macronutrientes (92,6%), sendo as maiores contribuições individuais observadas para o N (35,93%), o S (29,77%) e o Ca (17,07%). Existem variações sazonais nos teores de N, P, K, Ca, S, Mn e Fe nas folhas de macaúba na fase reprodutiva e a amostragem foliar deve ser realizada no período de maio e junho, período com menores variações sazonais, menor influência de déficit ou excesso de chuvas e demanda de órgãos em formação (drenos).

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata*; nutrição mineral; diagnose foliar.

SAZONAL VARIATION OF NUTRIENTS IN MACAÚBA LEAVES AND DEFINITION OF SAMPLING TIME

Abstract - The macaw palm (*Acrocomia aculeata*) is an oil palm common in Brazil and has aroused interest in the agroenergy sector due to present high oil contents, rusticity and adaptability to different environments. This specie is at stage of domestication and beginning of rational cultivations. Foliar diagnosis can contribute to correct nutritional management, but there are not yet sampling methodologies to this culture. Thus, the objective of this study were to evaluate the seasonal variation of leaf nutrient content and indicate the best time for sampling and interpretation of the nutritional status of macaw palm. The leaf content of macro (N, P, K, Ca, Mg and S) and micronutrients (Cu, Mn, Fe and Zn) from composed samples of leaflets collected from the middles part of the tenth leaf were evaluated in 12 sampling periods (January to December 2016). Data were submitted to analysis of variance and the means grouped by the Scott Knott test, at 5% probability to evaluate the seasonal variation of leaf contend from each nutrient. The distance from Mahalanobis and the Tocher optimization method were used to group sampling times of similar seasonal variations. There was a significant seasonal variation in 70% of the nutrients. Among the macronutrients, only Mg did not present significant seasonal variation. Among micronutrients, only Mn and Fe showed significant seasonal variation. The Tocher optimization technique separated the sampling times into four groups, being the largest stability group of nutrient variations represented by the sampling periods of March, April, May, June and July. The highest relative contributions of the seasonal variation to the expression of groups of common sampling times were observed for macronutrients (92.6%), with the highest individual contributions observed for N (35.93%), S (29, 77%) and Ca (17.07%). There are seasonal variations in the levels of N, P, K, Ca, S, Mn and Fe in the macaw palm leaves, and leaf sampling should be performed from May to June, period with seasonal variations, less influence of deficit or excess of rains and demand for organs in formation.

Key words: *Acrocomia aculeata*; mineral nutrition; leaf diagnosis.

INTRODUÇÃO

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.], também conhecida como bocaiúva ou macaíba, é uma palmeira pertencente à família Arecaceae, com ocorrência natural em toda América Tropical (HENDERSON et al., 1995; MOTOIKE et al., 2013). No Brasil, é considerada uma das palmeiras de maior dispersão, se mostrando adaptada a diversos solos e ambientes (HENDERSON et al., 1995; MOTTA et al., 2002; TELES et al., 2011).

A macaúba vem sendo considerada promissora para a produção de biocombustíveis (MOTOIKE e KUKI, 2009; LANES et al., 2014) e tem despertado interesse do setor energético devido ao seu potencial produtivo (de até 6200 kg/ha de óleo) (PIRES et al., 2013), e pela diversidade de produtos e coprodutos de valor energético agregado (EVARISTO et al., 2016). Entretanto, esta espécie encontra-se em fase de domesticação, em transição do extrativismo em maciços naturais para a exploração em áreas de cultivos. Para que a cultura se estabeleça como importante matéria-prima na produção de biocombustíveis torna-se imprescindível sua domesticação, com o aprimoramento de seu sistema de produção agrícola, estabelecendo cultivos racionais em maior escala e de modo competitivo.

Diversos estudos vêm contribuindo para a viabilização de cultivos agrícolas da macaúba, como na propagação da espécie (MOTOIKE et al., 2007), melhoramento genético (MANFIO et al., 2011; MANFIO et al., 2012; LANES et al., 2014), colheita e pós-colheita (GOULART, 2014; EVARISTO et al., 2016; JOSÉ et al., 2016) e desenvolvimento de práticas culturais e adubação (PIMENTEL et al., 2011; PIMENTEL et al., 2016). Ainda havendo necessidade do desenvolvimento de estudos com vista ao melhor planejamento de adubações e avaliações de desbalanços nutricionais.

Uma importante ferramenta utilizada na avaliação do estado nutricional de plantas é a análise foliar, uma vez que existe uma correlação entre o crescimento vegetativo ou produção e os teores foliares (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). O uso de teores foliares para diagnóstico do estado nutricional das culturas exige rigor no momento da amostragem, uma vez que as concentrações dos nutrientes nas folhas sofrem variações, demandando assim, conhecimento de uma época específica para a sua coleta (MALAVOLTA et al., 1997).

A determinação de uma época de amostragem foliar adequada depende do estudo das variações sazonais dos teores foliares dos nutrientes, com a escolha de um período de maior estabilidade, com variações sazonais mínimas das concentrações para a maioria dos nutrientes nos tecidos amostrados, dependendo de estudos específicos para cada nutriente e para cada cultura, uma vez que as variações podem ser fortemente influenciadas pelos mecanismos de absorção e translocação (MALAVOLTA et al., 1997).

Em outras palmáceas cultivadas, as épocas de amostragem foliar já são conhecidas, inclusive possuem certa similaridade, sendo no início da estação seca para o coqueiro (FRÉMOND et al., 1966) e no período menos chuvoso e no mínimo 3-4 meses após aplicação dos adubos para o dendezeiro (RODRIGUES et al., 2006). Amostragens foliares realizadas fora desse período recomendado para as culturas podem levar a falsas conclusões do estado nutricional das plantas e erros nas predições de corretivos e adubos.

Para a macaúba ainda não existe uma recomendação de época de amostragem foliar específica, podendo esta informação gerar grande avanço na diagnose foliar da cultura, com padronização da metodologia de amostragem. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a variação sazonal dos teores foliares de nutrientes minerais e indicar época para amostragem e interpretação do estado nutricional da macaúba.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Local e condições climáticas

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Araponga, MG, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada a 20°39'19,63"S e 42°31'59,40"O e altitude de 876 metros, no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2016.

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é C_{wb} (subtropical de altitude) (SÁ JÚNIOR et al., 2012). Durante a condução do experimento foram medidas a precipitação e temperatura *in loco* (Figura 1)

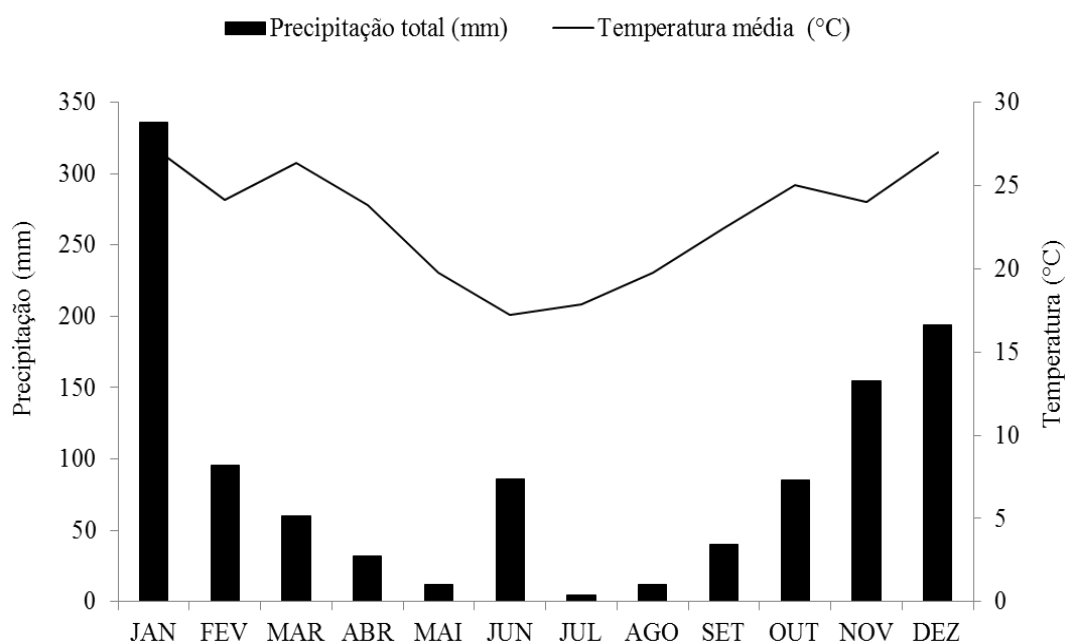


Figura 1 - Precipitação acumulada (mm) e temperaturas (°C) médias mensais na Estação Experimental de Araponga (UFV), entre janeiro de 2016 e dezembro de 2016.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo aluminoso argissólico – LVAa, segundo manual de classificação de solos (SANTOS et al., 2006; SANTOS, 2015).

A área de condução do experimento, onde as plantas de macaúbas amostradas se encontram cultivadas, se localiza no terço superior de uma encosta, com cerca de 25% de inclinação do terreno.

O histórico de uso da área é marcado pela ausência de registro de cultivos agrícolas, com apenas a ocorrência de pastagem de ocorrência natural antes do plantio das macaúbas, com registro de uma baixa fertilidade natural.

O solo da área ainda caracteriza-se por uma acidez elevada e um teor muito bom de matéria orgânica. A caracterização química em duas profundidades pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas de duas camadas do solo da área de condução do experimento, na Estação Experimental de Araçuaia (UFV), 2016.

Características	Profundidade do solo	
	0 a 0,20 m	0,20 a 0,40 m
pH (H ₂ O)	4,60	4,70
P (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	6,10	4,70
K (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	105,00	90,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	1,04	1,01
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	0,10	0,10
S (mg dm ⁻³) ⁽³⁾	19,80	16,90
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	1,60	1,40
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁴⁾	15,20	13,40
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,41	1,34
t (cmol _c dm ⁻³)	3,01	2,74
T (cmol _c dm ⁻³)	16,61	14,74
V (%)	8,50	9,10
m (%)	53,20	51,10
M.O. (dag kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	7,10	6,08
P-rem (mg L ⁻¹)	6,50	4,00
B (mg dm ⁻³) ⁽⁶⁾	0,97	0,88
Cu (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,81	0,84
Mn (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	2,90	2,90
Fe (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	94,20	110,80
Zn (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	2,81	2,18

⁽¹⁾Extrator Mehlich-1; ⁽²⁾Extrator KCl 1 mol L⁻¹; ⁽⁴⁾Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹- pH 7,0; ⁽³⁾Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético; ⁽⁵⁾Método Walkley-Black; ⁽⁶⁾Extrator água quente (SILVA, 2009); 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; M.O. - Matéria Orgânica.

2. Caracterização das plantas

As amostragens foram realizadas em um macaúbal com 6 anos de idade (implantado em março de 2009), plantado em espaçamento de 5x5 m entre plantas

(densidade de 400 plantas/ha). Em geral, as plantas se apresentavam no segundo ano com produção de frutos. As características vegetativas e produtivas das plantas de macaúbas do experimento podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização das plantas de macaúba utilizadas para coleta das amostras foliares, na Estação Experimental de Araponga (UFV), 2016.

Características	Valor médio (n=27)
Altura da planta (m)	7,29
Número de Folhas	20,37
Projeção da copa (Diâmetro, em m)	5,83
Safra 2015/2016 (kg frutos/planta)	2,87
Safra 2016/2017 (kg frutos/planta)	14,26

3. Tratos culturais

As correções de solo e adubações foram baseadas nas recomendações de Pimentel et al. (2011), com aplicação de 4,36 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 2,17 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola, 720 g/planta de uréia (317 g/planta de N), 900 g/planta de KCl (520 g/planta de K₂O) e 1040 g/planta de Yoorin Master[®] (182 g/planta de P; 187,2 g/planta de Ca; 72,8 g/planta de Mg; 1,04 g/planta de B; 0,52 g/planta de Cu; 3,12 g/planta de Mn; 5,72 g/planta de Zn e 104 g/planta de Si). As adubações nitrogenada e potássica foram aplicadas em duas etapas, a primeira parcela em outubro de 2015 e a segunda em fevereiro de 2016, junto aos demais corretivos e adubos.

Os demais tratos culturais resumiram-se ao controle de plantas daninhas com roçagem na entrelinha e aplicação de herbicida (glifosato) na linha de plantio.

4. Delineamento estatístico

O delineamento adotado foi de blocos casualizados com três repetições, com três unidades experimentais em cada repetição. A unidade experimental foi constituída de três plantas adultas de macaúba, totalizando 9 plantas por bloco e 27 plantas em todo experimento.

Os tratamentos em estudo foram doze épocas de amostragem de folhas de macaúba, com intervalos de 30 dias, ficando uma amostragem em cada mês do ano

(janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2016).

As três unidades experimentais de cada bloco possuem como bordadura plantas adultas de idade e porte semelhante.

5. Nutrientes avaliados

Os nutrientes avaliados nas folhas ao longo das doze épocas de amostragem foram: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn).

5.1. Coleta das amostras

As coletas das amostras foliares nas plantas de macaúba foram realizadas nos primeiros cinco dias de cada mês do ano. Cada unidade experimental compôs uma amostra foliar, ou seja, a coleta foi realizada nas três plantas da unidade experimental e juntadas para compor uma amostra representativa.

As amostras foliares foram compostas de folíolos coletados da parte mediana da décima folha (Figura 2-A), a qual se encontra na porção mediana da copa das macaúbas amostradas no experimento (plantas com número médio de 20,37 folhas), e no intervalo de folhas recomendado por Santos (2015) para amostragem foliar para fins de avaliação do estado nutricional em plantas adultas de macaúba (entre a nona e a décima terceira folha).

A folha amostrada (décima) caracteriza-se por uma horizontalidade, uma boa captação solar e atividade fisiológica estável, mostrando-se apropriada para a amostragem. E o material vegetal amostrado para o estudo fica compreendido na faixa de maior estabilidade dos teores dos nutrientes (na porção mediana da copa de plantas adultas de macaúba) observado por Santos (2015).

A coleta dos folíolos foi realizada com auxílio de um podão florestal e preparados com tesoura de poda. Coletaram-se folíolos de ambos os lados da folha e com diferentes ângulos de inclinação, característico da macaúba (Figura 2-B).

Posteriormente foram dispensadas as partes basais e apicais dos folíolos, ficando a amostra composta apenas da parte mediana dos mesmos (Figura 2-C e 2-D). Ao final, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel identificados.

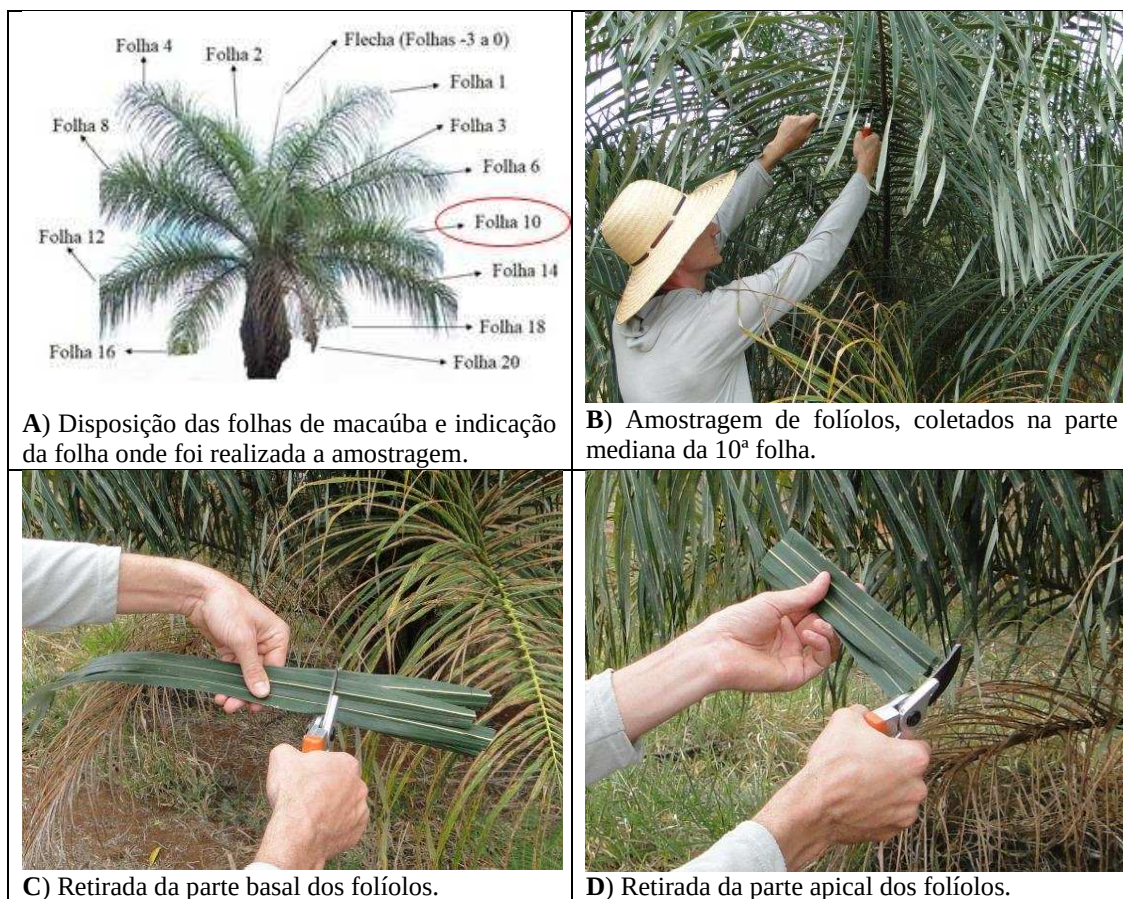


Figura 2 – Metodologia de amostragem foliar da macaúba adotada no experimento.
Fonte: 2A - Adaptado de Santos (2015).

5.2. Preparo das amostras

Após a coleta, os folíolos foram secos em estufa de circulação de ar forçada, a 65°C, durante 72 horas (até atingir peso constante), moídas em moinho tipo Willey e então conduzidas ao Laboratório de Nutrição Mineral da Universidade Federal de Viçosa.

5.3. Análise química do tecido vegetal

Para a determinação dos teores foliares, as amostras trituradas foram submetidas à digestão sulfúrica (JACKSON, 1958) para determinação de N, e submetidas à digestão nitroperclórica para determinação das concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (JOHNSON E ULRICH, 1959).

O N foi quantificado pelo método colorimétrico de Kjeldahl, sendo o nutriente quantificado por titulometria pelo método descrito por Bremner (1965).

O P foi determinado pelo método do fosfomolibdato e pela redução da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974); o K por fotometria de chama; o S, por turbidimetria do sulfato de bário (BLANCHAR et al., 1963), e os demais (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) foram quantificados por espectrometria de absorção atômica em chama (AOAC, 1975).

6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e posteriormente as médias dos tratamentos agrupadas pelo teste de Scott & Knott, a 5% de significância, para observação da variação sazonal dos teores foliares de cada nutriente avaliado.

Para a determinação de uma época comum de amostragem para todos os nutrientes foi utilizada a análise multivariada, aplicando-se técnica de agrupamento.

O procedimento de agrupamento envolveu, basicamente, duas etapas, primeiro foi caracterizada a dissimilaridade entre os tratamentos por meio da distância generalizada de Mahalanobis, depois, para a delimitação dos grupos foi utilizado o método de otimização de Tocher, citado por Rao (1952). Adicionalmente, foi quantificada a contribuição relativa dos nutrientes para a formação dos grupos das época de amostragem, por meio das distâncias generalizadas de Mahalanobis, utilizando o critério proposto por Singh (1981).

As análises estatísticas foram realizadas com o emprego do programa computacional GENES (Cruz, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância dos teores de nutrientes minerais em folhas de macaúba em função das épocas de amostragem mostrou variação sazonal significativa em 70% dos casos, percentual próximo de estudos com outras culturas (PRADO e NATALE, 2004; LIMA et al., 2007; LIMA et al., 2008).

Os teores foliares de macronutrientes foram os que apresentaram maior percentual de efeito significativo em função das épocas de amostragem, 83,33%, com apenas o Mg não apresentando variação sazonal significativa (Tabela 3). Os coeficientes de variação dos macronutrientes foram inferiores a 10%, sendo considerados baixos (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn) em folhas de macaúba, em doze épocas de amostragem.

F. V.	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S
.....Quadrados médios.....							
Bloco	2	4,802	0,047	1,052	20,698	0,064	0,624
Época	11	21,979 **	0,010 **	0,448 **	6,879 **	0,018 ^{ns}	8,834 **
Resíduo	22	0,727	0,001	0,073	0,404	0,006	0,382
CV (%)	-	4,19	2,81	3,96	6,94	9,48	8,08

F. V.	G.L.	Cu	Mn	Fe	Zn
.....Quadrados médios.....					
Bloco	2	28,884	114,348	79,213	19,395
Época	11	12,861 ^{ns}	12,233 **	898,442 **	18,058 ^{ns}
Resíduo	22	10,069	1,809	177,012	12,762
CV (%)	-	42,58	4,57	12,10	24,18

^{ns}Não significativo. * e ** Significativo pelo teste F, a 5 e 1% de significância, respectivamente.

Dentre os micronutrientes, a análise de variância apontou variação sazonal significativa para o Mn e o Fe, não havendo variação significativa para o Cu e o Zn, caracterizados por dados com os maiores coeficientes de variação do estudo, 42,58% e 24,18%, respectivamente (Tabela 3). Os quatro micronutrientes abordados no estudo são considerados elementos pouco móvel no floema (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012), o que pode estar relacionado com o menor percentual de variação sazonal significativa entre os nutrientes estudados e o comportamento observado da ocorrência de maiores teores nas folhas de macaúba coletados em

épocas com menor atividade metabólica e ocorrência de drenos nas plantas (Tabela 4 e Figura 3).

- **Nitrogênio**

A ocorrência de variação sazonal dos teores de N em folhas de macaúba foi caracterizada com os maiores teores observados no período de outubro a dezembro, com valor máximo de 25,11 g kg⁻¹ na amostragem realizada em novembro (Tabela 4), teor muito próximo do observado por Pires et al. (2013) em macaúbas de 2 anos. Valores intermediários foram observados entre as épocas de amostragem de janeiro a agosto, podendo ser observada uma tendência de aumento no teor foliar de N da amostragem de janeiro para março e uma queda nos valores a partir do mês de abril (Tabela 4; Figura 3-A).

O menor teor foliar de N entre as épocas de amostragem avaliadas foi observado na amostragem realizada em setembro, de forma isolada, com 16,92 g kg⁻¹ (Tabela 4). Esse menor teor foliar pode estar relacionado com a ocorrência do déficit hídrico mais acentuado de todo o período do ano. A absorção de N pelas raízes a partir da solução do solo ocorre por transporte de fluxo de massa, dependente da taxa de transpiração, da demanda de água pela planta e da umidade presente no solo (MALAVOLTA et al., 1997). O N possui alta mobilidade no floema (MARSCHNER, 2012), e a sua translocação das folhas mais velhas para os drenos podem acarretar em menores teores nas folhas amostradas (folha 10 - parte mediana da copa), em consequência da não reposição do N nos tecidos vegetais devido a uma menor absorção do elemento neste período.

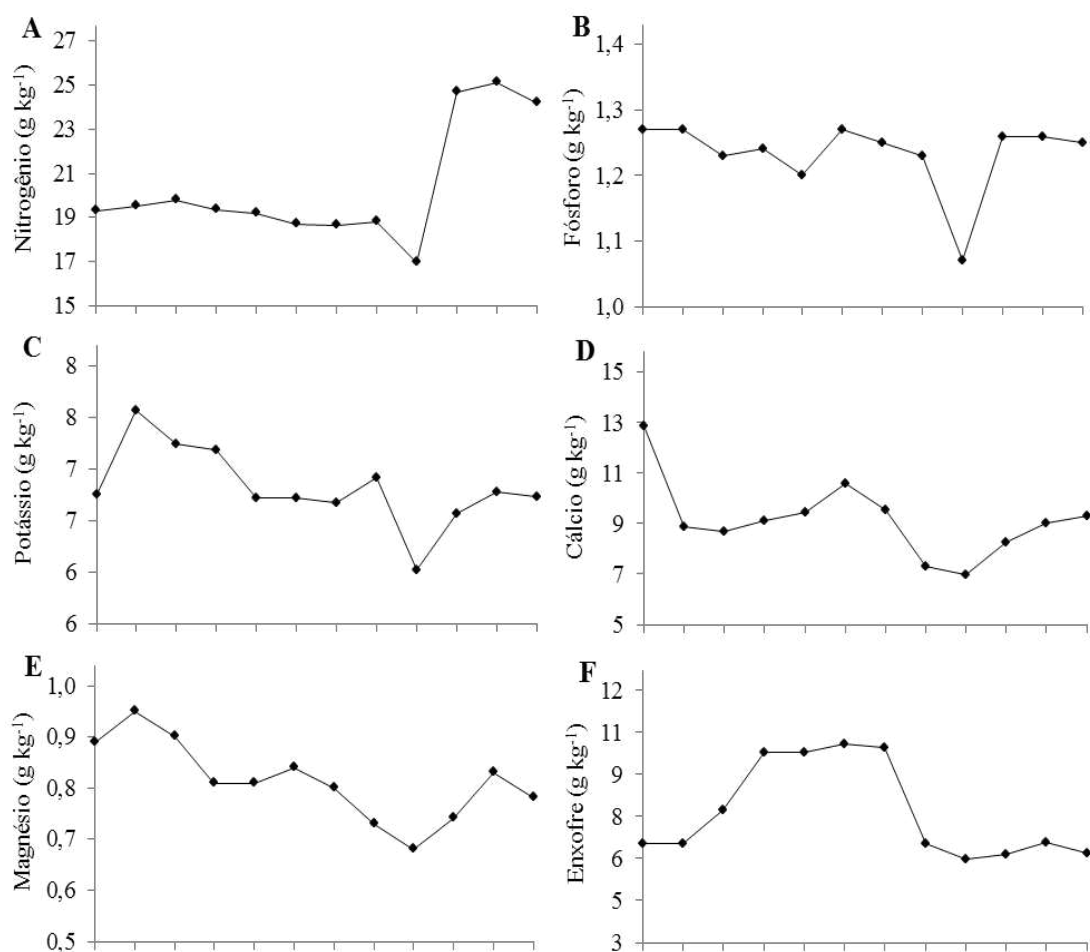
Os teores foliares de N observados mostraram-se acima dos teores médios de macaúbas adultas encontrados por Teles et al. (2008) e Santos (2015). Contudo ficaram abaixo do teor foliar de 30,70 g kg⁻¹ relacionado por Pimentel et al. (2015) com o melhor desenvolvimento de macaúbas, porém com apenas 2 anos após o plantio. A tendência de redução dos teores foliares de N de acordo com o aumento da idade de plantas de macaúba foi observado por Santos (2015), podendo estar relacionado com a diluição dos teores devido ao crescimento e fase fenológica da planta (JARREL e BEVERLY, 1981).

Tabela 4 - Teores médios dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe e Zn na massa seca foliar de macaúba, em doze diferentes épocas de amostragem.

Época de amostragem	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Fe	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
Janeiro	19,29 b	1,27 a	6,75 b	12,84 a	0,89 a	6,51 c	4,42 a	32,98 a	110,78 b	19,14 a
Fevereiro	19,52 b	1,27 a	7,57 a	8,87 c	0,95 a	6,51 c	10,74 a	29,52 b	86,7 b	13,58 a
Março	19,80 b	1,23 a	7,24 a	8,68 c	0,90 a	7,74 b	9,15 a	29,89 b	94,45 b	13,67 a
Abril	19,33 b	1,24 a	7,18 a	9,12 c	0,81 a	9,77 a	6,24 a	30,03 b	102,22 b	13,08 a
Maio	19,18 b	1,20 a	6,72 b	9,46 c	0,81 a	9,80 a	4,35 a	31,33 a	102,54 b	14,16 a
Junho	18,67 b	1,27 a	6,72 b	10,57 b	0,84 a	10,08 a	9,82 a	32,31 a	124,05 a	20,54 a
Julho	18,64 b	1,25 a	6,67 b	9,54 c	0,80 a	9,96 a	5,80 a	28,59 b	132,53 a	15,13 a
Agosto	18,80 b	1,23 a	6,92 b	7,31 d	0,73 a	6,55 c	6,47 a	26,77 b	147,37 a	13,45 a
Setembro	16,92 c	1,07 b	6,02 c	6,95 d	0,68 a	5,97 c	8,89 a	26,69 c	112,14 b	12,96 a
Outubro	24,67 a	1,26 a	6,57 b	8,26 c	0,74 a	6,16 c	8,75 a	27,75 c	108,95 b	13,70 a
Novembro	25,11 a	1,26 a	6,78 b	9,01 c	0,83 a	6,59 c	7,24 a	29,06 b	103,02 b	14,42 a
Dezembro	24,19 a	1,25 a	6,73 b	9,31 c	0,78 a	6,21 c	7,58 a	28,19 c	94,59 b	13,50 a

⁽¹⁾ Grupo de médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

MACRONUTRIENTES



MICRONUTRIENTES

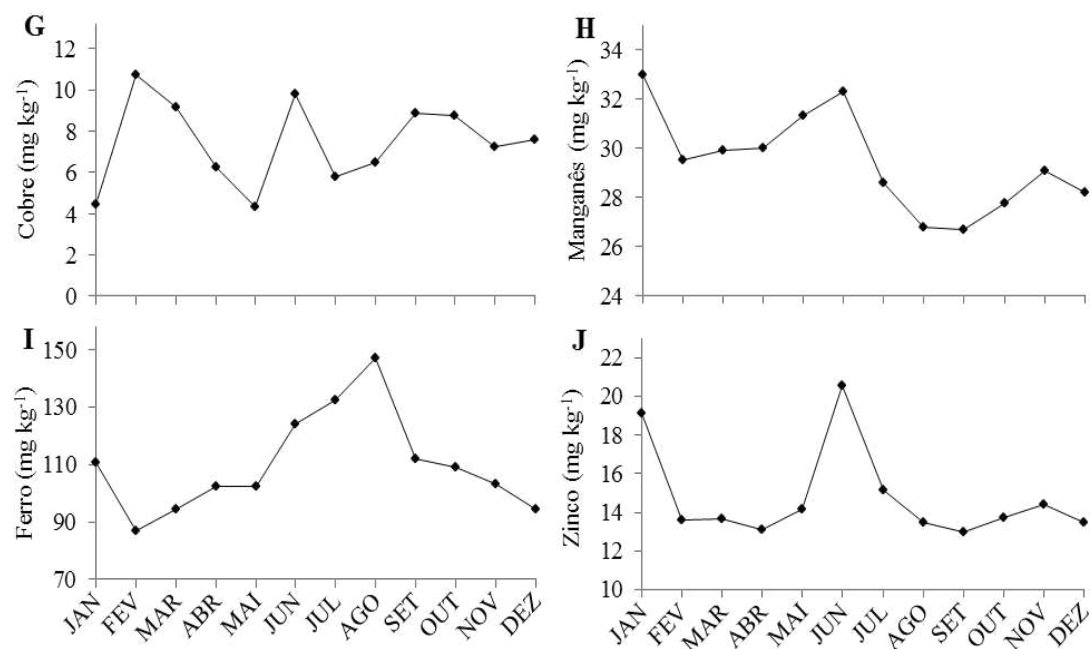


Figura 3 – Representação dos teores médios dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe e Zn na massa seca foliar de macaúba, em doze diferentes épocas de amostragem.

O grupo de épocas de amostragem com os maiores teores foliares de N foi entre os meses de outubro a dezembro (Tabela 4). Neste período a macaúba encontra-se em grande atividade metabólica, com o desenvolvimento final dos frutos, principalmente com ganho de massa do mesocarpo e acúmulo de óleo (MONTTOYA et al., 2016), bem como o início do florescimento (SCARIOT et al., 1991; BRITO, 2013). A demanda de N das fontes (folhas) para os drenos (flores e frutos) parece não ter afetado os teores foliares durante o período supracitado, podendo estar possivelmente relacionado à maior disponibilidade do N em função da maior umidade no solo.

O período de maior florescimento concentra-se nos meses de dezembro e janeiro (BRITO, 2013, MONTTOYA et al., 2016), podendo estar relacionado com a queda nos teores foliares de N nas amostragens realizadas em janeiro e meses seguintes (Figura 3-A). Provavelmente, o forte dreno da frutificação pode ser o responsável pelos menores teores de N encontrados no período, devido à redistribuição do nutriente para os drenos florais (espatas, flores) e acentuado crescimento inicial de frutos, com grande acúmulo de matéria seca nas primeiras quinze semanas após antese (MONTTOYA et al., 2016).

Para o N em específico, a compreensão de sua variação sazonal e a determinação de uma correta metodologia de amostragem foliar pode gerar grande avanço na fertilização da macaúba, diante da dificuldade de avaliação da disponibilidade desse elemento para as plantas com base em análise de solo, mediante a complexidade de reações do N no solo, diferente dos outros nutrientes (CANTARELA, 2007). A sugestão de uma época de amostragem para o N pode ser de janeiro a agosto, período com observação de teores foliares intermediários e maior estabilidade na variação sazonal do nutriente.

- **Fósforo**

Os teores foliares de P mostraram pequenas variações sazonais entre as épocas de amostragem, com uma notória queda nos valores das amostras colhidas na amostragem de setembro (Figura 3-B). Este menor teor foliar de P observado, de 1,07 g kg⁻¹, foi o único estatisticamente diferente do grupo formado pelos teores das outras épocas de amostragem (Tabela 4).

Esta observação de variação sazonal significativa de P pode estar relacionada com a disponibilidade de P no solo na época de amostragem. A disponibilidade de P no solo, além de ser fortemente afetada pelas perdas por processos de fixação, também é prejudicada por períodos de déficit hídrico devido sua movimentação no solo por difusão (NOVAIS et al., 2007).

O maior teor foliar de P observado entre as demais onze épocas de amostragem foi de $1,27 \text{ g kg}^{-1}$, nas amostragens realizadas em janeiro, fevereiro e junho (Tabela 4). Teores similares foram encontrados por Santos (2015), mas Teles et al. (2008) observaram teores foliares maiores, em torno de $2,20 \text{ g kg}^{-1}$ de P, ambos com macaúbas adultas. Pimentel et al. (2015) relacionaram o melhor desenvolvimento de plantas de 2 anos de macaúba com maiores teores foliares, em torno de $1,67 \text{ g kg}^{-1}$, valor próximo do observado por Pires et al. (2013) para plantas juvenis da mesma idade.

O P é um elemento caracterizado por baixa mobilidade no solo, porém na planta, juntamente com o N, é o nutriente mais prontamente redistribuído (MALAVOLTA et al., 1997). Com isso, a observação de teores foliares tão similares durante todo o ano levam ao entendimento de que a adubação fosfatada está sendo suficiente, mesmo diante da demanda pelo acúmulo de reservas nos frutos observados por Montoya et al. (2016), estando o P diretamente envolvido nos processos de transferência e armazenamento de energia nas plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013), o que afeta diretamente a produção.

O P é o macronutriente menos exigido pela macaúba (PIMENTEL, 2012; SANTOS, 2015), e pelas palmáceas em geral (junto com o Mg e S) (OUVRIER, 1984; VIÉGAS e BOTELHO, 2000; CORLEY e TINKER, 2003). Contudo, o manejo nutricional de P é de suma importância quando comparado aos demais nutrientes, devido à sua carência natural em solos tropicais e sua forte interação com o solo, acarretando grandes perdas por adsorção e pequena eficiência de adubos fosfatados (NOVAIS et al., 2007). Essa limitação da absorção de P é uma das principais limitações nutricionais nos solos tropicais e por consequência uma das maiores limitações à produtividade agrícola.

A amostragem para a avaliação do estado nutricional do fósforo poderia ser realizada em qualquer época do ano exceto no mês de setembro, devido a maior variação comparada às demais épocas, não sendo representativa do real estado nutricional do P na macaúba.

- **Potássio**

Em relação aos teores foliares de K, foi verificado maiores valores nas amostragens realizadas em fevereiro, março e abril, e mais uma vez o menor valor é observado no mês de setembro, semelhantemente aos teores de N e P (Tabela 4 e Figura 3-C).

O grupo formado pelas épocas de amostragem com os maiores teores de K coincide com a segunda parcela de adubação de cobertura potássica, mas não é reflexo apenas da adubação, pois a mesma foi realizada no fim do mês de fevereiro (29/02/2017) e a coleta dos folíolos referente ao citado mês foi realizada antes da aplicação dos adubos, nos primeiros dias de fevereiro. A interferência da adubação potássica pode ter sido minimizada devido ao fato de que o solo da área do experimento possuir teores de K considerados bons e acima do nível crítico (ALVAREZ V. et al., 1999).

O K é abundante no citoplasma das células das plantas, apresenta grande importância na expansão celular, na síntese de proteínas e controle estomático, fatos que provavelmente determinaram ser um dos nutrientes com maiores teores foliares (MARSCHNER, 2012; MALAVOLTA, 2006), na macaúba ficando atrás apenas dos teores de N. Outro papel fundamental do K é relacionado ao transporte no floema, com a translocação de açúcares (assimilados na fotossíntese), processo com gasto energético de ATP, cuja produção é dependente do nutriente em discussão (MALAVOLTA, 2006, TRIPLER et al., 2006).

O máximo teor de K encontrado foi de $7,57 \text{ g kg}^{-1}$ nas amostras de fevereiro e o mínimo foi de $6,02 \text{ g kg}^{-1}$ em setembro. Santos (2015) e Pires et al. (2013) observaram teores foliares médios entre o intervalo da variação sazonal dos teores observados no estudo, já Teles et al. (2008) relatam teores foliares de K em torno de $9,50 \text{ g kg}^{-1}$. Pimentel et al. (2015) novamente encontram teores foliares superiores em plantas jovens, $13,64 \text{ g kg}^{-1}$.

Para o nutriente K, existe grande chance de ter ocorrido a situação de consumo de luxo, onde as macaúbas absorveram e carregaram seus tecidos na fase de maior disponibilidade no solo (combinação de adubação e período chuvoso) e, mais adiante, ocorreu translocação com surgimento de drenos, emissão de novas folhas, espatas, florescimento e enchimento de frutos, visto que é um cátion bastante móvel

no floema (MARSCHNER, 2012) e de maior extração e exportação pela cultura (PIMENTEL, 2012; SANTOS, 2015).

Em relação à melhor época de amostragem para o K, observa-se um grupo com teores intermediários e com menores variações entre as épocas de amostragem, formado pelas épocas de janeiro, maio a agosto e outubro a dezembro, que apesar de não ser um período contínuo, inclui oito das doze épocas de amostragem, sendo bastante representativo do estado nutricional da macaúba (Tabela 4).

- **Cálcio**

Quanto ao Ca, a variação dos teores nas amostras foliares de macaúba ao longo das doze épocas de amostragem não parece seguir uma tendência clara, ocorrendo uma flutuação iniciando com maior valor em janeiro, uma queda até março, uma retomada nos teores a partir de abril atingindo o segundo maior valor observado no estudo em junho, seguido novamente de decréscimo até atingir o menor valor em setembro, ocorrendo novamente acréscimos nos teores no período de outubro a dezembro (Figura 3-D).

O Ca possui função estrutural, sendo constituinte da lamela média das células (TAIZ e ZEIGER, 2013), e em frutos de macaúba é o terceiro nutriente mais encontrado (CETEC, 1983; SANTOS, 2015). A flutuação sazonal observada para o Ca de certa forma acompanha o fenômeno de crescimento e desenvolvimento dos frutos de macaúba descrito por Montoya et al. (2016), observando que o segundo maior teor de Ca coincide com o período de estabilização no acúmulo de matéria seca dos frutos, na amostragem de junho.

O teor máximo de Ca foi de 12,84 g kg⁻¹, observado na amostragem de janeiro, e o teor mínimo de 6,95 g kg⁻¹ em setembro, formando um grupo com os menores teores foliares junto com a amostragem realizada em agosto (Tabela 4). Esses teores apresentam-se próximos dos relatados por Teles et al. (2008) e Santos (2015) em plantas adultas e acima dos observados por Pimentel et al. (2015) em plantas de 2 anos, de 4,94 g kg⁻¹. Ao contrário da maioria dos nutrientes avaliados, para o Ca pode-se perceber um acréscimo nos teores foliares com o aumento da idade das macaúbas, situação também observada em outras palmáceas, como no dendezeiro (RODRIGUES et al., 2006), bem como em outras culturas, a exemplo em bananeira (MAIA, 2012).

A diagnose foliar para a macaúba em relação ao Ca deve ser usada com um cuidado especial quanto à interpretação dos teores observados, podendo não demonstrar teores baixos diante de situações de desequilíbrio nutricional, uma vez que para Marschner (2012) esse elemento é de baixa mobilidade no floema. Assim, o uso da diagnose foliar para o nutriente demanda maior observação da planta como um todo, pois a maior parte do Ca absorvido do solo é levado diretamente para os locais de maior atividade transpiratória (folhas), o que leva a maiores problemas de deficiências serem observados nos frutos. Entretanto, não foi observado qualquer tipo de anomalia nas plantas e nos frutos de macaúba no presente estudo.

- **Magnésio**

Em relação ao Mg, os teores foliares não mostraram variação sazonal entre as épocas de amostragem (Tabela 3 e 4). No entanto, o comportamento dos teores ao longo do ano foi similar ao do K, com teor máximo na amostragem de fevereiro e teor mínimo em setembro, com 0,95 e 0,68 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 3-E e Tabela 4).

Os teores foliares de Mg verificados ficaram abaixo dos teores médios observados em plantas adultas de macaúba por Teles et al. (2008), Santos (2015) e juvenis por Pires et al. (2013) e Pimentel et al. (2015), com 1,60, 1,85, 2,20 e 1,48 g kg⁻¹, respectivamente. Segundo Malavolta et al. (1997) a absorção de Mg²⁺ pelas raízes pode ser inibida pelas altas concentrações de K, Ca²⁺ e NH₄⁺ na solução do solo, o que justificaria os baixos teores foliares observados no estudo, porém o solo da área experimental caracteriza-se por um teor muito baixo de Mg²⁺ (ALVAREZ V. et al., 1999) e consequentemente larga relação Ca/Mg, em torno de 10/1, o que pode estar contribuindo ainda mais para acarretar os teores foliares mais baixos em comparação com os estudos supracitados.

O Mg é um elemento bastante móvel no floema, assim como os macronutrientes N, P e K (MARSCHNER, 2012). Com isso, a ocorrência de baixos teores na folha amostrada, própria para avaliação do estado nutricional da macaúba (porção mediana da copa) (SANTOS, 2015), pode ser um indicativo de um possível desequilíbrio no estado nutricional das plantas em relação a este nutriente. Uma vez que, devido sua mobilidade, menores teores deveriam ser observados em tecidos (folhas) mais velhos, como da porção basal da copa da palmeira.

Porém, Santos (2015) observou decréscimos nos teores foliares ao longo da copa da macaúba apenas para N, P e K, com os teores de Mg aumentando em direção a porção basal da copa. A tendência de decréscimo em direção às folhas mais velhas só foi observada em relação ao conteúdo do nutriente, com o ponto máximo de Mg observado na oitava folha, com uma faixa de estabilidade dos conteúdos da sexta até a décima quarta folha (SANTOS, 2015).

O Mg tem como principal função a ativação enzimática, estando envolvido nos processos de respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA, além de ser parte da estrutura em anel da molécula da clorofila, e sua deficiência pode gerar redução generalizada no processo fotossintético (MALAVOLTA, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2013). Uma correta amostragem para avaliação nutricional do Mg e possíveis ajustes em adubações podem evitar perdas significativas de produtividades para a cultura da macaúba.

Diante da não variação sazonal significativa observada, a amostragem para avaliação dos teores foliares do magnésio poderia ser realizada em qualquer uma das épocas praticadas, visto a estabilidade na variação sazonal dos teores foliares.

- **Enxofre**

A variação sazonal nos teores de S nas folhas de macaúba teve uma tendência inversa da maioria dos demais macronutrientes estudados, apresentando menores valores nos meses da estação chuvosa e maiores valores na estação seca, com exceção dos meses de agosto e setembro (Tabela 4 e Figura 3-F).

O teor foliar máximo de S foi observado na amostragem realizada em junho, com 10,08 g kg⁻¹ e o mínimo observado em setembro, com 5,97 g kg⁻¹. Valores maiores que os observados por Teles et al. (2008), Santos (2015) e Pimentel et al. (2015).

A observação de teores foliares acima dos demais comparados pode estar relacionada com os elevados teores de S do solo da área experimental, classificados como muito bom (ALVAREZ V. et al., 1999).

O S é componente de aminoácidos sulfurados (metionina, cisteína e cistina), proteínas, açúcares, clorofila e enzimas, como a coenzima A (CoA), assim como na formação da proteína ferridoxina, molécula responsável pela transferência de elétrons e que atua na fotossíntese, na fixação biológica de N e na redução de

compostos oxidados, como com o próprio SO_4^- (MALAVOLTA, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2013).

O S é um elemento considerado pouco móvel no floema (MALAVOLTA et al., 1997), não ocorrendo remobilização com facilidade para as folhas jovens, na maioria das espécies (TAIZ e ZEIGER, 2013), podendo em momentos de maior demanda metabólica, como lançamento de folhas, florescimento e enchimento de frutos, ter ocorrido o decréscimo dos teores nas folhas que foram amostradas, e consequente observação de maiores teores nos períodos de menor atividade metabólica, como no grupo formado pelo período de abril a julho (Tabela 4).

Para a escolha de uma época de amostragem para avaliação dos teores foliares de S, torna-se necessário a observação da variação sazonal dos demais nutrientes, uma vez que temos um grupo maior, com sete épocas de amostragem (janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro), mas com os menores teores, e um grupo menor, também representativo, com quatro épocas (abril, maio, junho e julho), com os maiores teores foliares (Tabela 4).

- **Cobre**

Entre os micronutrientes avaliados, o Cu não sofreu variação sazonal significativa para as épocas de amostragem em estudo (Tabela 3 e 4), em detrimento disso, a amostragem de folhas para avaliação nutricional da palmeira macaúba para este nutriente pode ser feita em qualquer época do ano. Entretanto, o CV% observado neste trabalho para os teores foliares de Cu foi elevado, o que pode ter impedido a observação de uma possível variação significativa.

O teor máximo de Cu foi de $10,74 \text{ mg kg}^{-1}$ na amostragem realizada em fevereiro, já o teor mínimo foi de $4,35 \text{ mg kg}^{-1}$ em maio (Tabela 4). Teores foliares dentro desse intervalo foram encontrados por Teles et al. (2008) e Santos (2015). Já Pimentel et al. (2015) relacionaram o melhor desenvolvimento de macaúba com teor foliar um pouco abaixo do mínimo observado, $4,00 \text{ mg kg}^{-1}$, em macaúbas de 2 anos.

O Cu é o nutriente menos exigido pela macaúba (PIMENTEL, 2012; SANTOS, 2015; PIMENTEL et al., 2015), mas possui importantes funções, como elemento estrutural (constituente de proteínas) e ativador enzimático, sendo que a maior parte das enzimas ativadas pelo Cu estão relacionadas ao processo fotossintético (plastocianina) e à respiração (oxidase de citocromo) (MALAVOLTA,

2006; MARSCHNER, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013). Portanto, o monitoramento dos teores de Cu através da diagnose foliar para um correto manejo nutricional da cultura é de suma importância para o metabolismo vegetal.

- **Manganês**

A variação sazonal dos teores foliares de Mn teve comportamento não muito claro, com certa similaridade ao ocorrido com a variação sazonal dos teores de Ca, mas com a formação de três grupos estatisticamente diferentes (Figura 3-H e Tabela 4).

O grupo com maiores teores de Mn apresentou-se de forma descontínua, observado pelas épocas de amostragem de janeiro, maio e junho, assim como o grupo com os menores valores, com setembro, outubro e dezembro (Tabela 4).

As funções do Mn estão relacionadas com ativação enzimática e a fotólise da água para a captura de energia luminosa na fotossíntese (MALAVOLTA, 2006). A ocorrência dos maiores teores foliares do nutriente nas épocas de amostragem de maio e junho podem estar relacionado com uma menor demanda energética da planta, uma vez que coincide com o período descrito por Montoya et al. (2016) como de estabilidade no acúmulo de massa seca dos frutos de macaúba.

Menores teores de Mn observados nas amostragens realizadas na estação chuvosa, com exceção de janeiro, podem estar relacionadas com a ocorrência de maiores drenos nas plantas, como a maior taxa de acúmulo de massa seca nos frutos de macaúba observado por Montoya et al. (2016) e uma possível menor disponibilidade de Mn no solo.

Segundo Abreu et al. (2007), a disponibilidade de Mn pode se tornar baixa em solos com alto teor de matéria orgânica, devido à formação de complexos estáveis entre a matéria orgânica e o Mn. Situação de provável ocorrência devido ao solo da área de condução do experimento ser caracterizada por teores acima de 7 dag kg⁻¹ de matéria orgânica (Tabela 1), teor considerado bastante elevado para solos agrícolas (ALVAREZ et al., 1999).

O teor foliar máximo de Mn foi observado na amostragem realizada em janeiro, 32,98 mg kg⁻¹, enquanto o teor mínimo, de 26,69 mg kg⁻¹, foi observado na amostragem de setembro. Teores foliares superiores foram encontrados por Teles et al. (2008) e Santos (2015) em plantas adultas, com teores médios de 49 mg kg⁻¹ e 62

mg kg⁻¹, respectivamente. Pimentel et al. (2015) relataram teores foliares dentro do intervalo de variação sazonal observado para o Mn no estudo, mas em plantas de dois anos.

- **Ferro**

Entre os micronutrientes, o Fe teve a variação sazonal mais clara (Figura 3-I), com teores foliares menores nas amostragens de janeiro à maio, um grupo de teores maiores de junho a agosto e retomando teores foliares menores de setembro a diante (Tabela 4). Os maiores valores foram observados no período de seca, apesar do período de menor precipitação ter ocorrido com maior severidade em setembro, onde os valores já se mostraram mais baixos.

Nos vegetais, o Fe tem importante papel nos processos de respiração, balanço hormonal e fotossíntese, como constituinte dos cloroplastos e na participação da transferência de elétrons através do ciclo entre Fe²⁺ e Fe³⁺ (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013). Portanto a variação sazonal nos teores Fe em folhas de macaúba podem ter seguido o balanço da demanda energética da planta, com menores teores em momentos de maior exigência (drenos), como nas épocas de maior florescimento, delimitados por Scariot et al. (1991) e Brito (2013), entre outubro e janeiro, e de maior crescimento inicial e desenvolvimento final dos frutos de macaúba descritos por Montoya et al. (2016).

Malavolta et al. (1997) afirmam que a absorção de Fe pode ser influenciada por outros cátions como K, Ca, Mg, Cu e Zn, por inibição competitiva. Os menores teores foliares de Fe podem também ter ocorrido com essa inibição diante da maior disponibilidade no solo desses cátions durante a estação chuvosa.

Máximo teor de Fe foi observado na amostragem de agosto, 147,37 mg kg⁻¹, e o teor mínimo na de fevereiro, 86,70 mg kg⁻¹. Os teores relatados por Teles et al. (2008), Pires et al. (2013) e Santos (2015) foram maiores que os observados neste estudo, com o máximo sendo observado por Teles et al. (2008), 200 mg kg⁻¹. Contudo, os teores relatados por Pimentel et al. (2015) ficam dentro do intervalo da variação sazonal de Fe. Provavelmente, o teor de Fe esteja diretamente relacionado ao tipo de solo, visto que o experimento em questão trata-se de avaliações sequenciais nas plantas avaliadas por Pimentel et al. (2015) e Santos (2015).

- **Zinco**

Quanto aos teores foliares de Zn, não ocorreu diferença estatística significativa entre as épocas de amostragem (Tabela 3 e 4), subsídio para uma recomendação de amostragem foliar em qualquer época do ano. Contudo, essa recomendação pode sofrer ajustes diante da variação sazonal dos demais nutrientes e do comportamento da variação sazonal observada na Figura 3-J. Além disso, o CV% elevado observado para os teores foliares do nutriente podem ter impedido a observação de variação sazonal significativa.

Os teores foliares de Zn se mostram estáveis durante quase todas as épocas de amostragem, ocorrendo uma elevação no meio do ano, com o maior teor foliar, de 20,54 mg kg⁻¹, em junho (estação seca), também sendo observado maior teor nas amostras coletadas em janeiro, que só ficaram abaixo dos teores de junho (Figura 3-J). O teor mínimo encontrado foi de 12,96 mg kg⁻¹, na amostragem realizada em setembro, ficando ainda acima do teor foliar de Zn relacionado por Pimentel et al. (2015) com o melhor desenvolvimento de macaúbas de dois anos. Teores foliares médios de Zn encontrados por Teles et al. (2008) e Santos (2015) ficaram dentro do intervalo da variação dos teores máximo e mínimo observados durante as épocas de amostragem.

O Zn apresentou variação sazonal de seus teores foliares muito próximo do observado para o Mn (Figura 3-H e 3-J). Abreu et al. (2007) relatam condições ambientais que podem reduzir sua disponibilidade no solo muito parecidas com as que afetam o Mn, como alta umidade e associação com a fração orgânica do solo.

O Zn é um nutriente de mobilidade intermediária no floema, e assim, de baixa redistribuição na planta, entretanto, depende do conteúdo do nutriente nos tecidos (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). Uma época de amostragem apropriada para a avaliação do estado nutricional de Zn na macaúba pode evitar a ocorrência de deficiência e perdas de produtividade.

- **Definição da época comum de amostragem para todos os nutrientes**

A determinação de uma época comum de amostragem para todos os nutrientes estudados com a observação dos períodos de maior estabilidade da variação sazonal dos teores foliares de forma individual dos elementos não foi

possível. A dificuldade de selecionar uma época comum de amostragem foliar com base na menor variação sazonal de cada nutriente também foi relatada para outras culturas, como para noqueira-pecã (CREESSWELL e WICKSON, 1986), aceroleira (AMARAL et al., 2002; LIMA et al, 2007; LIMA et al., 2008), pinhão-manso (LIMA et al., 2011) e a bananeira (MAIA, 2012).

Para a indicação de uma época de amostragem para a cultura da macaúba adotou-se como estratégia a escolha de um período que seja apropriado para a avaliação do estado nutricional da maioria dos nutrientes, com o estudo das variações sazonais por meio da análise multivariada. A técnica de otimização de Tocher separou as épocas de amostragem em quatro grupos de maior similaridade entre as variações sazonais dos teores foliares. O primeiro grupo foi composto por quatro épocas (33,33%), o segundo por cinco épocas (41,66%), o terceiro por 2 épocas (16,66%) e o quarto por apenas uma época de amostragem (8,33%) (Tabela 5).

Tabela 5- Agrupamento, pelo método de otimização de Tocher, de 12 épocas de amostragem foliar de macaúba (*Acrocomia aculeata*).

Grupos		Épocas de amostragem			
I	NOV	DEZ	OUT	FEV	
II	ABR	MAI	JUL	JUN	MAR
III	AGO	SET			
IV	JAN				

A análise para estimar a contribuição relativa da variação sazonal de cada nutriente para a expressão de grupos de épocas comuns de amostragem indicou grande contribuição dos macronutrientes (92,6%) para a aproximação das épocas, com destaque para as contribuições individuais do N (35,93%), do S (29,77%) e do Ca (17,07%). Entre os micronutrientes a maior contribuição individual foi dada pelo Zn (3,50%) (Tabela 6).

A escolha da época de amostragem para uma real avaliação do estado nutricional da macaúba deve levar em conta todos os nutrientes, visto que a divisão entre macro e micronutrientes é apenas em função da quantidade presente nos tecidos vegetais, sendo todos elementos avaliados essenciais às plantas (MALAVOLTA, 2006). Porém, uma maior contribuição relativa dos macronutrientes (Tabela 6) é interessante para o uso da diagnose foliar na determinação ou ajustes de doses de

adubação, uma vez que a extração e acúmulo de nutrientes na planta de macaúba e a exportação pela colheita ocorre na seguinte ordem decrescente: $K \approx Ca > N > S \approx Mg > P > Fe > Zn \approx Mn > Cu$ e $K > N \approx Ca > S > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu$, respectivamente (PIMENTEL, 2012; SANTOS, 2015).

Tabela 6 - Importância relativa da variação sazonal de teores foliares de nutrientes em macaúba para épocas de amostragem pelo método de Singh.

Nutrientes	Valor (%)
Nitrogênio (N)	35,93
Fósforo (P)	3,83
Potássio (K)	5,54
Cálcio (Ca)	17,07
Magnésio (Mg)	0,46
Enxofre (S)	29,77
Cobre (Cu)	1,11
Manganês (Mn)	1,70
Ferro (Fe)	1,09
Zinco (Zn)	3,50

O maior período de épocas de amostragem com similaridade entre as variações sazonais de todos os nutrientes estudados foi de março, abril, maio, junho e julho (Grupo II) (Tabela 5). Este grupo engloba épocas de amostragem do período final da estação chuvosa e início da estação seca. Ponderações sobre a escolha da época de amostragem em função da estação do ano podem ser importantes devido à interferência de condições ambientais no comportamento dos nutrientes no solo e na planta e intensidade de atividades metabólicas na planta (relações fonte/dreno).

O crescimento das plantas, em especial o lançamento de folhas novas, é um considerável dreno de nutrientes. A produção de folhas em palmáceas pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, como disponibilidade de água, luminosidade e temperatura (DE STEVEN et al., 1987; SAMPAIO e SCARIOT, 2008, TUCCI et al., 2010). A macaúba, com adequado manejo nutricional, chega a lançar 11,8 folhas por ano, uma média de quase uma folha por mês (BARLETO, 2011), sendo observada maior frequência de lançamento no período chuvoso, semelhante ao observado em outras palmáceas (LEITE e ENCARNAÇÃO, 2002; TUCCI et al., 2007).

Outro forte dreno nutricional nas culturas agrícolas são as flores (MALAVOLTA, 2006). Scariot et al. (1991) relatam um pico de florescimento da macaúba nos meses de novembro e dezembro no Brasil Central, enquanto Brito (2013) e Montoya et al. (2016) relatam maior registro de florescimento nos meses de dezembro e janeiro em Minas Gerais, havendo o consenso do florescimento ocorrer durante a estação chuvosa. O período de maior florescimento observado nas plantas durante a condução do estudo seguiram as observações de Brito (2013) e Montoya et al. (2016). A discussão do período que ocorre o florescimento da macaúba faz-se necessária para a escolha da época de amostragem fora desse período, para não haver possível interferência nos teores foliares devido aos drenos de emissão de espigas e inflorescências.

O posicionamento do período de florescimento também é importante para a delimitação do período de desenvolvimento dos frutos de macaúba. Possivelmente os frutos devem ser o maior dreno de nutrientes da cultura, diante de seu grande potencial produtivo (CETEC, 1983, PIRES et al., 2013) e exportação de nutrientes pela colheita (CETEC, 1983; SANTOS, 2015).

O ciclo de frutificação da macaúba dura aproximadamente 62 semanas (mais de 1 ano), com a observação de quatro fases (FI, FII, FIII e FIV) com diferenças em relação ao crescimento, diferenciação das estruturas (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa), acúmulo de compostos (água, amido, óleo) e ganho de massa, com os maiores acúmulos de matéria seca nos frutos sendo observado nas fases FII e FIV (MONTOLYA et al., 2016). Essas diferentes fases de desenvolvimento do fruto podem influenciar a variação sazonal dos teores foliares dos nutrientes em diferentes momentos e com diferentes intensidades, sobretudo, em épocas que ocorrem a sobreposição dessas fases, com a simultaneidade do crescimento inicial (FI e FII) e desenvolvimento final dos frutos (FIV), aproximadamente no período de dezembro a março (Figura 4).

Segundo Montoya et al. (2016) a fase FIII é caracterizada pelo aumento inexpressivo de massa nos frutos, ocorrendo aproximadamente entre a 15ª e a 27ª semana após a antese (Figura 4). Este período de estabilização no desenvolvimento dos frutos de macaúba não coincide com outros drenos, como florescimento e maior emissão de folhas e ainda fica dentro do período de março a julho, caracterizado pela similaridade entre as variações sazonais (agrupadas pela técnica de Tocher) (Figura 4).

Confrontando o maior período de épocas de amostragem com similaridade entre as variações sazonais (março a julho), com a fase FIII supracitada, observa-se que as épocas de amostragem de março e julho ficam fora desta fase com a antese ocorrendo em dezembro (Cenário1 - Figura 4), bem como as épocas de março e abril com a antese ocorrendo em janeiro (Cenário 2 – Figura 4).

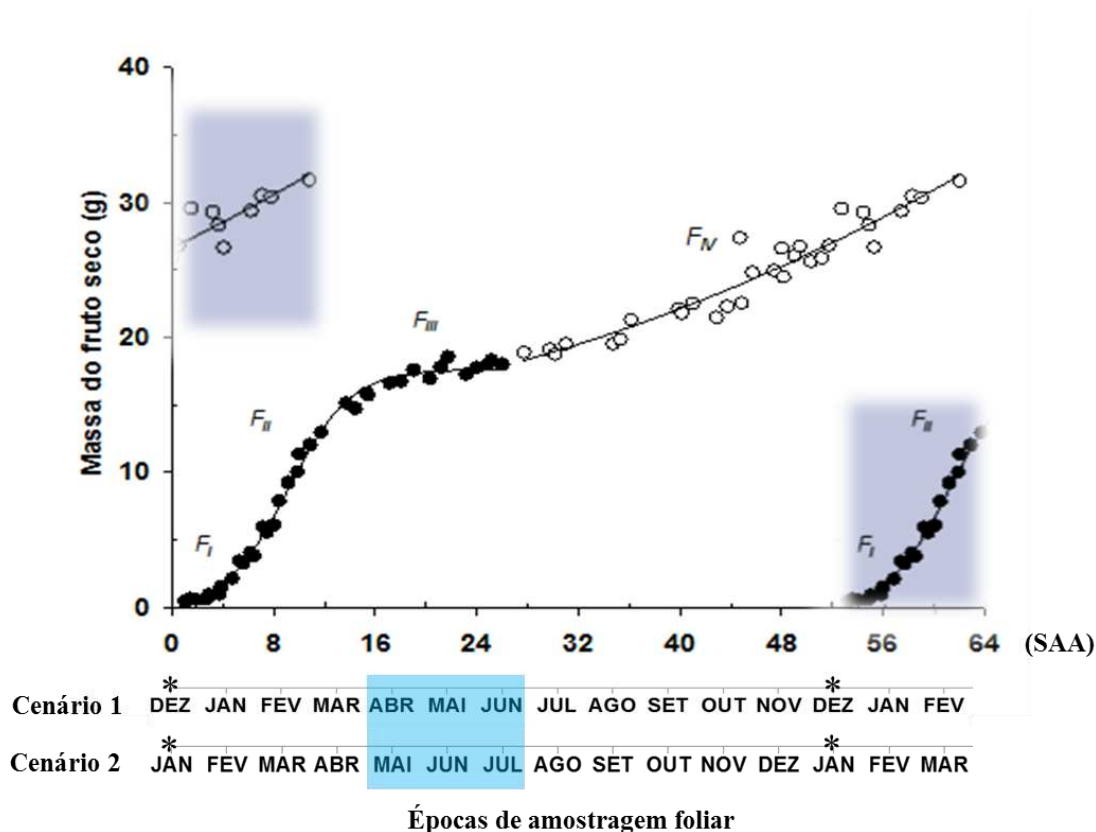


Figura 4 - Posicionamento das épocas de amostragem foliar em função do acúmulo de matéria seca nos frutos de macaúba após a antese (*). Adaptado de Montoya et al. (2016).

Considerando o manejo operacional da cultura, é interessante que a amostragem foliar seja realizada em momentos de menor atividade na lavoura (controle de plantas daninhas, colheita, aplicação de corretivos e adubos, etc.) e que anteceda a adubação, com prazo para recebimento e interpretação dos resultados da análise foliar, para então a adoção de um correto manejo nutricional da cultura através da avaliação do estado nutricional das plantas e recomendação de corretivos e adubos, geralmente com a primeira parcela aplicada no início da estação chuvosa (Figura 5).

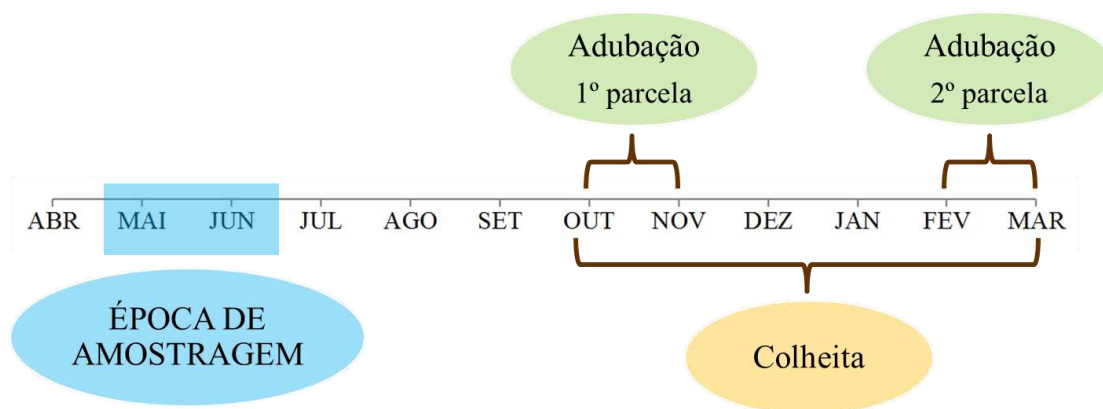


Figura 5 - Posicionamento da época de amostragem foliar recomendada (maio e junho), diante do fluxograma operacional em lavouras de macaúba.

Diante de todas as observações, recomenda-se que a amostragem foliar para a avaliação do estado nutricional da macaúba seja realizada no período de maio e junho (Figura 4 e 5), período com menor influência de déficit ou excesso de chuvas, e pela demanda (dreno) de órgãos em formação (espatas, flores, folhas novas e frutos). Períodos de amostragem foliar similares foram recomendados para outras palmáceas. Frémond et al. (1966) recomendam a amostragem para o coqueiro no início da estação seca e Rodrigues et al. (2006) recomendam a coleta no período menos chuvoso e no mínimo 3-4 meses após aplicação dos adubos.

CONCLUSÕES

Existem variações sazonais diferenciadas para os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e S e dos micronutrientes Mn e Fe, nas folhas de macaúba ao longo do ano agrícola.

A amostragem foliar para interpretação do estado nutricional deve ser realizada entre os meses de maio e junho, período com menores variações sazonais dos nutrientes minerais, menor influência de déficit ou excesso de chuvas e menor demanda de órgãos em formação (drenos).

A variação sazonal dos macronutrientes N, S e Ca foram as que mais contribuíram para a indicação da época comum de amostragem foliar para a cultura da macaúba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S. GABRIELLI, G.C. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 375-470, 2007.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. 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, p. 25-32, 1999.
- AMARAL, J. F. T. DO.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; CRUZ, C. D.; GODOY, C. L.; CAIXETA, S. L. Determination of leaf sampling techniques to assess the nutritional status of Barbados cherry (*Malpighia emarginata* D.C.). **Fruits**, v. 57, p. 161- 171, 2002.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 12 ed. Washington, 1975. 1094p.
- BARLETO, E. A. **Respostas ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de nutrientes**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília/UNB. Brasília, DF, 2011. 135 f.
- BLANCHAR, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings of the Soil Science Society of America**, Madison, v.29, p.71-72, 1963.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, p. 73-85, 1974.
- BREMNER, J. M. Total nitrogen. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, p. 1149-1178, 1965.
- BRITO, A. C. **Biologia reprodutiva de macaúba: floração, polinizadores, frutificação e conservação de pólen**. Tese (Doutorado em Genética e melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013. 47 p.
- CANTARELA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 375-470, 2007.
- Centro Tecnológico de Minas Gerais / Ministério Indústria e Comércio (CETEC-MG). **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais (VI): Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Relatório Final Convênio STI-MIC-CETEC. 1983. 152 p.
- CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The oil palm**. Blackwell Science, Oxford, 4 ed., 2003. 608p.

- CRESSWELL, G. C.; WICKSON, R. J. Seasonal variation in the nutrient composition of the foliage of pecan (*Carya illinoensis*). **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 26, n. 3, p. 393-397, 1986.
- CRUZ C.D. **Programa Genes: biometria**. Viçosa: Ed. da UFV, 2006.
- DE STEVEN D., WINDSON D. M., PUTZ, F.E., SOURCE, B. L. Vegetative and reproductive phenologies of a Palm Assemblage in Panamá. **Biotropica**, v. 4, n. 19, p. 342-356, 1987.
- EVARISTO, A. B., GROSSI, J. A. S., CARNEIRO, A. D. C. O., PIMENTEL, L. D., MOTOIKE, S. Y., KUKI, K. N. (2016). Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 85, 18-24, 2016
- FRÉMOND, Y.; ZILLER, R.; NUCÉ, D. L. **The coconut palm**. Berne: IPI, 1966. 267p.
- GOULART, S.M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2014. 66 p.
- HENDERSON A, GALEANO G, BERNAL R. **Field guide to the palms of the Americas**. Princeton University Press: New Jersey, 1995.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, PrenticeHall, 1958. 498p.
- JARRELL, W. M., BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies, In: **Advance in Agronomy**. ed Brady N. C. (Academic Press, New York, NY), v. 34, p 197–224, 1981.
- JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles, University of California, v. 766, p. 32-33, 1959.
- JOSÉ, C., EVARISTO, A. B., MARQUES, G., MARTÍN-RAMOS, P., MARTÍN-GIL, J., GUTIÉRREZ, A. Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. **Industrial Crops and Products**, v. 84, p. 294-304, 2016.
- LANES, E. C. M.; COSTA, P. M. A.; MOTOIKE, S. Y. Alternative fuels: Brazil promotes aviation biofuels. **Nature**, v. 511, n. 7507, p. 31-31, 2014.
- LEITE, I. R. M.; ENCARNÇÃO, C. R. F. Fenologia do coqueiro na zona costeira de Pernambuco. **Pesquisa. Agropecuária. Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 745-752, 2002.
- LIMA, R. L. S.; SIQUEIRA, D. L.; CAZETTA, J. O.; FERREIRA, G. B.; WEBER, O B. Variação sazonal da concentração de macronutrientes em folhas de diferentes genótipos de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 29, n. 3, p. 652-656, 2007.

- LIMA, R. L. S.; SIQUEIRA, D. L.; FERREIRA, G. B.; WEBER, O. B.; CAZETTA, J. O.; LOPES, F. F. M. Variação sazonal de micronutrientes em folhas de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 869–874, 2008.
- LIMA, R. L. S. de; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V. de; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. C. Posição da folha e estágio fenológico do ramo para análise foliar do pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1068-1072, 2011.
- MAIA, C. E. Época de amostragem foliar para diagnóstico nutricional em bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 859-861, 2012.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MANFIO, E. C.; MOTOIKE, S. Y.; SANTOS, C. E. M.; PIMENTEL, L. D.; QUEIROZ, V.; SATO, A. Y. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 70-76, 2011.
- MANFIO, E. C.; MOTOIKE, S. Y.; RESENDE, M. D. V.; SANTOS, C. E. M.; SATO, A. Y. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 63-69, 2012.
- MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants** (3 ed.) London: Academic Press, 2012. 651p.
- MONTOYA, S. G., MOTOIKE, S. Y., KUKI, K. N., COUTO, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, n. 4, p. 927-938, 2016.
- MOTOIKE, S. Y.; LOPES, F. A.; SÁ JUNIOR, A. Q.; CARVALHO, M.; OLIVEIRA, M. A. R. Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*. **Patente: PI0703180-7**. 2007.
- MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. The Potential of Macaw Palm (*Acrocomia aculeata*) as Source of Biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, n. 6, p. 632-635, 2009.
- MOTOIKE, S. Y.; CARVALHO, M.; PIMENTEL, L. D.; KUKI, K. N.; PAES, J. M. V.; DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y. **A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 61 p.
- MOTTA, P. E. F.; CURL, N.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Occurrence of macaúba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic, pedological and vegetation attributes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3, p. 1023-1031, 2002.

- NOVAIS, R.F.; SMITH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 769-850, 2007.
- 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-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309 p.
- PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; TEIXEIRA, C. M.; MOTOIKE, S. Y.; PEDROSO NETO, J. C. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1º aproximação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 32, n. 265, p. 20-30, 2011.
- PIMENTEL, L. D. **Nutrição Mineral da macaúba: bases para adubação e cultivo**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012. 115 p.
- PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C.H. ; MARTINEZ, H. E. P.; MOTOIKE, S. Y.; MANFIO, E. C.; SANTOS, RC. Effect of Nitrogen and Potassium Rates on Early Development of Macaw Palm. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1671-1680, 2015.
- PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MANFIO, E. C.; ; MOTOIKE, S. Y.; MARTINEZ, H. E. P. Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macaw palm seedling production. **Revista Árvore**, v. 40, p. 235-244, 2016.
- PIRES, T. P.; SOUZA, E. S., KUKI, K. N.; MOTOIKE, S.Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. Leaf Sampling in carambola trees. **Fruits**, v. 59, p. 281-289, 2004.
- RAO RC. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: Jonh Wiley and Sons, 1952, 390 p.
- RODRIGUES, M. D. R. L.; AMBLARD, P.; BARCELOS, E.; MACEDO, J. L. V.; CUNHA, R. N. V.; TAVARES, A. M. **Avaliação do estado nutricional do dendezeiro: análise foliar (reformulada)**. Comunicado Técnico, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, 2006.
- SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO, L.G.; SILVA, F.F.; CARVALHO ALVES, M. . Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, p. 1-7, 2012.

- SAMPAIO M. B. e SCARIOT, A. Growth and reproduction of the understory palm *Geonoma schottiana* Mart. in the gallery forest in Central Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 31, n. 3, p. 433-442, 2008.
- SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. D.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. D. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2º ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- SANTOS, R. C. **Aspectos nutricionais e resposta da macaúba a adubação com nitrogênio e potássio**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015. 85 p.
- SCARIOT, A. O.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, p. 12-22, 1991.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, New Delhi. v. 41, p. 237-245, 1981
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ªed., Porto Alegre: Editora Artmed, 2013. 918p.
- TELES H. F.; RESENDE C. F. A.; LEANDRO W. M.; PIRES L. L.; TAVARES P. V. A.; SANTOS R. A. S. G. Teores de nutrientes em folhas de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em diferentes estádios fenológicos no cerrado goiano. In: **Anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado**; 12-17 out 2008; Brasília.
- TELES, H. F.; PIRES, L. L.; GARCIA, J.; ROSA, J. Q. S.; FARIAS, J. G.; NAVES, R.V. Ambientes de ocorrência natural de macaúba. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v, 41, n. 4, p. 595-601, 2011.
- TRIPLER, C. E.; KAUSHAL, S. S.; LIKENS, G. E.; TODD WALTER, M. Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems. **Ecology Letters**, v. 9, n. 4, p. 451-466, 2006.
- TUCCI, M.L.S.; BOVI, E.C.; SPIERING, S.H., MACHADO, E.C. Seasonal growth variation of peach palms grown in containers under subtropical conditions. **Scientia agrícola**, n. 64, p. 138-146, 2007.
- TUCCI, M.L.S, ERISMANN, N,M.; MACHADO, E.C. et al. Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical conditions. **Photosynthetica**. v. 48, n. 3, p. 421-429, 2010.
- VIÉGAS, I. J. M; BOTELHO, S. M. Nutrição mineral do dendezeiro. In: VIÉGAS, I J. M.; MULLER, A. A. (Ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 229-273, 2000. 374p.

CAPÍTULO II

EFEITO DE DOSES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTAS ADULTAS DE MACAÚBA

Resumo - A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é considerada uma palmeira de elevada produção e vem sendo apresentada como uma boa alternativa de matéria-prima para a indústria alimentícia, cosmética e de biocombustíveis. Contudo, muitos aspectos importantes para o cultivo da macaúba ainda são pouco conhecidos, como por exemplo, as exigências nutricionais e efeito de adubações. Nesse contexto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito temporal de doses de nitrogênio e potássio em plantas adultas de macaúba de diferentes origens. No experimento foi adotado o esquema de parcelas subsubdivididas, sendo as parcelas constituídas de cinco doses de NK (0, 250, 500, 750 e 1000 g/planta) na proporção de 0,42 de N (uréia) e 0,58 de K (KCl); as subparcelas de três acessos de macaúba originários de diferentes regiões de Minas Gerais (BGP 7, BGP 9 E BGP 15) e as subsubparcelas pelos 2 anos de avaliação (2015 e 2016). Foram avaliadas as características vegetativas altura de planta (m), número de folhas, projeção da copa (m) e diâmetro do coleto (m), as características produtivas número de espatas emitidas, número de cachos por planta, massa de raque por planta (kg), massa média da raque (kg), massa de frutos por planta (kg), massa de frutos por cacho (kg), massa média do fruto (g), número de frutos por planta e número de frutos por cacho e teores foliares de N e K. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Não foi observado efeito de interação tripla entre os fatores dose, acesso e ano para nenhuma das características avaliadas. Houve interação dupla apenas entre os fatores dose e ano para as características número de espatas emitidas, número de cachos por planta, massa de raque por planta, massa de frutos por planta, número de frutos por planta e teores foliares de N e K, e entre os fatores acesso e ano para as características número de espatas emitidas e massa média da raque. Para características vegetativas observou-se ganhos positivos em função da dose e máximas respostas próximas da maior dose aplicada. Para a maioria das características produtivas observou-se maiores ganhos no ano de 2016 sendo obtidos com menores doses em comparação com 2015. A maior massa de frutos por planta foi obtida com a dose 757,64 g/planta de NK no ano de 2016. O acesso BGP 15 foi superior aos demais acessos em quase todas as características avaliadas, exceto para massa de raque e massa de frutos por planta, que se igualou ao BGP 7. A

macaúba é responsiva à adubação nitrogenada e potássica, com maior produtividade de frutos na dose de 757,64 g/planta de NK. Os acessos de macaúba apresentam efeitos diferenciados em relação às doses de NK, sendo o acesso BGP 15 superior aos demais.

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata*; adubação; macronutrientes; produtividade.

EFFECT OF NITROGEN AND POTASSIUM RATES ON ADULT PLANTS OF MACAW PALM

Abstract – The macaw palm (*Acrocomia aculeata*) is considered a high-yielding palm tree and has been presented as a good raw material alternative for the food, cosmetics and biofuel industry. However, important aspects of macaw palm cultivation are still poorly understood, such as nutritional requirements and fertilizer effects. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of increasing rates of nitrogen and potassium on adult plants of macaw palm from different regions. In the experiment, we used the scheme of sub-subdivided plots divided into five rates of NK (0, 250, 500, 750 and 1000 g / plant) in the proportion of 0.42 of N (urea) and 0.58 of K (KCl); and the subplots were three macaw palm accesses at the beginning of reproductive phase (BGP 7, BGP 9 and BGP 15) and sub-subplots for the two years of evaluation (2015 and 2016). We evaluated the following vegetative characteristics: plant height (m), number of leaves, crown projection (m) and collection diameter (m), productive characteristics number of spats emitted, number of bunches per plant, mass of rake per plant (kg), mean mass of the fruit (kg), mass of fruits per plant (kg), mass of fruits per cluster (kg), average mass of fruit (g), number of fruits per plant and number of fruits per cluster and contents leaf data of N and K. The results were submitted to analysis of variance and regression and means were compared by Tukey test at 5% probability. There was a double interaction only between the rates and year factors for the number of spatters emitted, number of bunches per plant, mass of rake per plant, mass of fruits per plant, number of fruits per plant and leaf contents of N and K, and also between the factors access and year for the characteristics number of spats emitted and average mass of the rake. For vegetative characteristics, positive gains were observed as a function of the rates and maximum responses close to the highest rates applied. For most of the productive characteristics, greater gains in 2016 were obtained with lower rates compared to 2015. The highest mass of fruits per plant was obtained with the rates 757.64 g/plant NK in 2016. The BGP 15 access was superior to others accesses in almost all the evaluated characteristics, except for mass of rake and mass of fruits per plant, that was equal to the BGP 7. The macaw palm responds to nitrogen and potassium fertilization, with greater productivity of fruits at rates of 757.64 g/plant NK. Macaw

palm accesses have different effects in relation to NK rates, and BGP 15 access is superior to the others.

Key words: *Acrocomia aculeata*; fertilizing; macronutrients; productivity.

INTRODUÇÃO

A palmeira macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] vem sendo estudada como boa alternativa de matéria-prima para a indústria alimentícia, cosmética e de biocombustíveis, devido ao seu potencial produtivo (CETEC, 1983; MOTOIKE e KUKI, 2009; LANES et al., 2014; EVARISTO et al., 2017). Soma-se a isso, características de rusticidade como tolerância a seca e adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas (MOTTA et al., 2002; TELES et al., 2011).

Por outro lado, o cultivo da macaúba em escala comercial depende da consolidação de sua domesticação e desenvolvimento de sistemas de produção, principalmente quanto ao manejo nutricional. Contudo, muitos aspectos importantes à nutrição mineral da macaúba ainda são pouco conhecidos, como por exemplo, as exigências nutricionais em condições de cultivo e o efeito de adubações nas diferentes fases de desenvolvimento da planta.

A ocorrência natural da macaúba em solos eutróficos (MOTTA et al., 2002; TELES et al., 2011) sugere da macaúba ser uma espécie exigente em termos de fertilidade do solo, com significativas exigências nutricionais, e consequentemente, acarretar altas demandas por adubações.

A macaúba tem se mostrado responsiva a adubação nas fases de produção de mudas e crescimento inicial das plantas em campo (PIMENTEL et al., 2015; SANTOS, 2015; PIMENTEL et al., 2016). No entanto, estudos da exigência nutricional da macaúba na fase de produção são ainda incipientes, pois demandam experimentos e, ou, cultivos racionais instalados e conduzidos por anos, os quais iniciam sua produção a partir do quinto ano de cultivo.

A adubação tem como princípio básico elevar o nível de fertilidade do solo até uma condição ótima para o desenvolvimento da cultura (CANTARUTTI et al., 2007), sendo o cálculo desta baseado na diferença entre a exigência dos nutrientes pela cultura e a capacidade de fornecimento pelo solo (MALAVOLTA et al., 1997). As principais palmáceas cultivadas são o coqueiro e o dendezeiro, os quais apresentam altas exigências nutricionais, sendo o nitrogênio e o potássio os nutrientes de maior extração pelas culturas (OUVRIER, 1984; VIÉGAS e BOTELHO, 2000; CORLEY e TINKER, 2003). Com isso, as adubações dessas palmáceas na fase de produção se caracterizam por grande reposição desses dois nutrientes (SOBRAL, 1998; VIÉGAS e BOTELHO, 2000).

Estudos demonstraram que o nitrogênio e o potássio também são os nutrientes de maior extração e exportação pela macaúba (PIMENTEL, 2012; SANTOS, 2015), o que demanda maior aprofundamento na avaliação dos efeitos da fertilização com os dois nutrientes, sobretudo na fase adulta da planta, já com produção de frutos.

Nesse contexto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito temporal de doses de nitrogênio e potássio em plantas adultas de macaúba de diferentes origens.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Local e condições climáticas

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Araponga, MG, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), nos anos de 2015 e 2016. A localização da área é na região da Zona da Mata de Minas Gerais – Brasil, a 20°39'19,63"S e 42°31'59,40"O e altitude de 876 metros. O clima da região é caracterizado por inverno seco e verão ameno, sendo classificado como C_{wb} (subtropical de altitude), segundo classificação de Köppen (SÁ JÚNIOR et al., 2012).

O local da condução do experimento caracteriza-se por estar no terço superior de um morro com uma inclinação aproximada de 25%. Pimentel et al. (2015) descrevem o solo da área no momento da implantação do experimento como de fertilidade baixa, caracterizado pela existência de pastagem natural e sem histórico de cultivos agrícolas.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Alumínico argissólico – LVAa, segundo manual de classificação de solos (SANTOS et al., 2006; SANTOS, 2015). As características químicas do solo em duas profundidades podem ser verificadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas de duas camadas do solo da área de condução do experimento, na Estação Experimental de Araçuaia (UFV), 2016.

Características	Profundidade do solo	
	0 a 0,20 m	0,20 a 0,40 m
pH (H ₂ O)	4,60	4,70
P (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	6,10	4,70
K (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	105,00	90,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	1,04	1,01
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	0,10	0,10
S (mg dm ⁻³) ⁽³⁾	19,80	16,90
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾	1,60	1,40
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁴⁾	15,20	13,40
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,41	1,34
t (cmol _c dm ⁻³)	3,01	2,74
T (cmol _c dm ⁻³)	16,61	14,74
V (%)	8,50	9,10
m (%)	53,20	51,10
M.O. (dag kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	7,10	6,08
P-rem (mg L ⁻¹)	6,50	4,00
B (mg dm ⁻³) ⁽⁶⁾	0,97	0,88
Cu (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,81	0,84
Mn (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	2,90	2,90
Fe (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	94,20	110,80
Zn (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	2,81	2,18

⁽¹⁾Extrator Mehlich-1; ⁽²⁾Extrator KCl 1 mol L⁻¹; ⁽⁴⁾Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹- pH 7,0; ⁽³⁾Extrator Fosfato monocalcico em ácido acético; ⁽⁵⁾Método Walkley-Black; ⁽⁶⁾Extrator água quente (SILVA, 2009); 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; M.O. - Matéria Orgânica.

2. Implantação e condução do experimento

O presente trabalho é uma continuidade do experimento montado por Pimentel et al. (2015) e também conduzido por Santos (2015). A implantação ocorreu em março de 2009, com o plantio de mudas de macaúbas com idade em torno de 8 meses, adotando um espaçamento de 5x5 m entre plantas (densidade de 400 plantas/ha).

O preparo do solo para o plantio das macaúbas consistiu na limpeza da área, sem revolvimento (aração ou gradagem), e na abertura das covas com broca de aproximadamente 46 cm de diâmetro. A correção do solo foi feita de forma localizada na cova, com aplicação de 200 g de calcário dolomítico.

A primeira adubação foi feita igualmente para todos os tratamentos para o estabelecimento das plantas. No momento do plantio (mar/2009) foi aplicado 400 g de superfosfato simples na cova e na primeira adubação de cobertura (abr/2009) 40 g de uréia, 40 g de KCl e 25 g de boráx. Os tratos culturais basicamente resumiram-se ao controle de plantas daninhas com as técnicas mecânicas de roçagem e coroamento da muda.

A aplicação dos tratamentos, doses anuais de NK, iniciou na primeira estação chuvosa após o plantio. Pimentel et al. (2015) realizaram avaliações nas macaúbas no segundo ano após o plantio (2011). Santos (2015) conduziu o experimento a partir de então, e realizou avaliações no terceiro (2012), quarto (2013) e quinto ano após o plantio (2014).

Nos sexto e sétimo ano após o plantio, anos de condução deste experimento, foram realizados tratos culturais de roçagem mecanizada nas entrelinhas das macaúbas e aplicação de herbicida (glifosato) na linha das plantas.

Em 2016, foram aplicados 4,36 Mg/ha de calcário dolomítico e 2,17 Mg/ha de gesso agrícola. A adubações com os demais nutrientes foram realizadas em todas as plantas de forma igual, seguindo as recomendações de adubação para a cultura da macaúba de Pimentel et al. (2011).

3. Delineamento estatístico

No experimento foi adotado o esquema de parcelas subsubdivididas no tempo, sendo as parcelas constituídas de cinco doses de NK, as subparcelas de três acessos de macaúba e as subsubparcelas de dois anos de avaliação, o sexto e o sétimo ano após o plantio, arranjado em delineamento de blocos casualizados com três repetições.

Cada unidade experimental foi constituída de três plantas de macaúba do mesmo acesso, e cada parcela de três unidades experimentais, uma de cada acesso, totalizando nove plantas por parcela, 45 plantas por bloco e 135 plantas no total do experimento.

As unidades experimentais continham como bordadura plantas adultas de macaúba de idade e porte semelhantes, as quais não recebiam as adubações (tratamentos).

4. Doses de nitrogênio e potássio (NK)

O tratamento principal do experimento, referentes à parcela, são as doses de NK, as quais dimensionadas em função de percentuais de 0, 30, 60, 90 e 120% de uma dose anual referência estimada por Pimentel et al. (2015) a partir de recomendações de adubação de outras palmáceas, como de Viégas e Botelho (2000) para o dendezeiro (*Elaeis guineenses*) e de Sobral (1998) para o coqueiro (*Cocos nucifera*).

As cinco doses de NK aplicadas no sexto (2015) e no sétimo ano após o plantio (2016) foram: 0, 250, 500, 750 e 1000 g/planta de NK na proporção de 0,42 de N e 0,58 de K. As fontes de N e K utilizadas no experimento foram uréia (45% de N) e o cloreto de potássio (KCl, com 48% de K), respectivamente.

A aplicação dos tratamentos da adubação nitrogenada e potássica foram divididas em duas parcelas, a primeira sendo aplicada no início da estação chuvosa (novembro) e a segunda no término (fevereiro). Os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo sob a projeção da copa das macaúbas.

5. Caracterização dos acessos de macaúba

Os acessos de macaúba utilizados no experimento são provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais:

- BGP 7 – município de Betim (região Central);
- BGP 9 – município de Piranga (Zona da Mata);
- BGP 15 – município de Barroso (Campos das Vertentes).

Segundo Pimentel (2012), as mudas foram produzidas a partir de sementes extraídas de frutos coletados de uma única planta de cada região citada acima, submetidas ao processo de pré-germinação (MOTOIKE et al., 2007). As mudas foram conduzidas pela fase de pré-viveiro em tubetes e viveiro em sacolas plásticas até a emissão do primeiro par de folhas definitivas (8 meses de idade).

6. Características Avaliadas

As avaliações das características vegetativas e a coleta de amostras foliares foram realizadas em agosto de 2015 e agosto de 2016, enquanto as características produtivas foram avaliadas durante as colheitas das safras 2015/2016 e 2016/2017.

6.1. Características vegetativas

As características vegetativas avaliadas foram número de folhas (NF), altura de planta (AP), projeção da copa (PC) e diâmetro do coleto (DC).

Para avaliação da AP foi utilizada uma régua constituída de tubo PVC graduada com intervalos de 10 cm, medindo a partir do ápice da folha mais jovem (flecha) até o chão. A contagem do NF foi realizada a partir da primeira folha expandida (folha 1), contando apenas as folhas fotossinteticamente ativas (não secas). Para PC foi utilizada uma trena, realizando duas medidas, de posições opostas, do diâmetro da copa a partir dos extremos das folhas, calculando uma projeção média entre as duas medidas. E o DC foi mensurado com uma suta de uso florestal, também tirando duas medidas de forma similar à característica anterior.

6.2. Características produtivas

As características produtivas avaliadas foram: número de espatas emitidas (NEE), número de cachos por planta (NCP), massa de raque por planta (MRP), massa média da raque (MMR), massa de frutos por planta (MFP), massa de frutos por cacho (MFC), massa média do fruto (MMF), número de frutos por planta (NFP) e número de frutos por cacho (NFC). Todas as massas referem-se à matéria fresca.

Durante a colheita, o cacho foi cortado no início da incisão com a estipe da planta e os frutos derriçados manualmente. Em seguida, com auxílio de uma balança, pesou-se de forma separada as raques (junto com as ráquilas), os frutos colhidos e uma amostra de 10 frutos por cacho (Figura 1).

O NEE foi monitorado durante o florescimento anterior, referente à atual colheita. A MRP foi determinada pela somatória das raques colhidas, assim com a MFP. A MMF foi determinada pela divisão da massa dos frutos da amostra de 10 frutos. O NFP e NFC foram estimados pela divisão entre as MFP e MFC pela MMF, respectivamente.

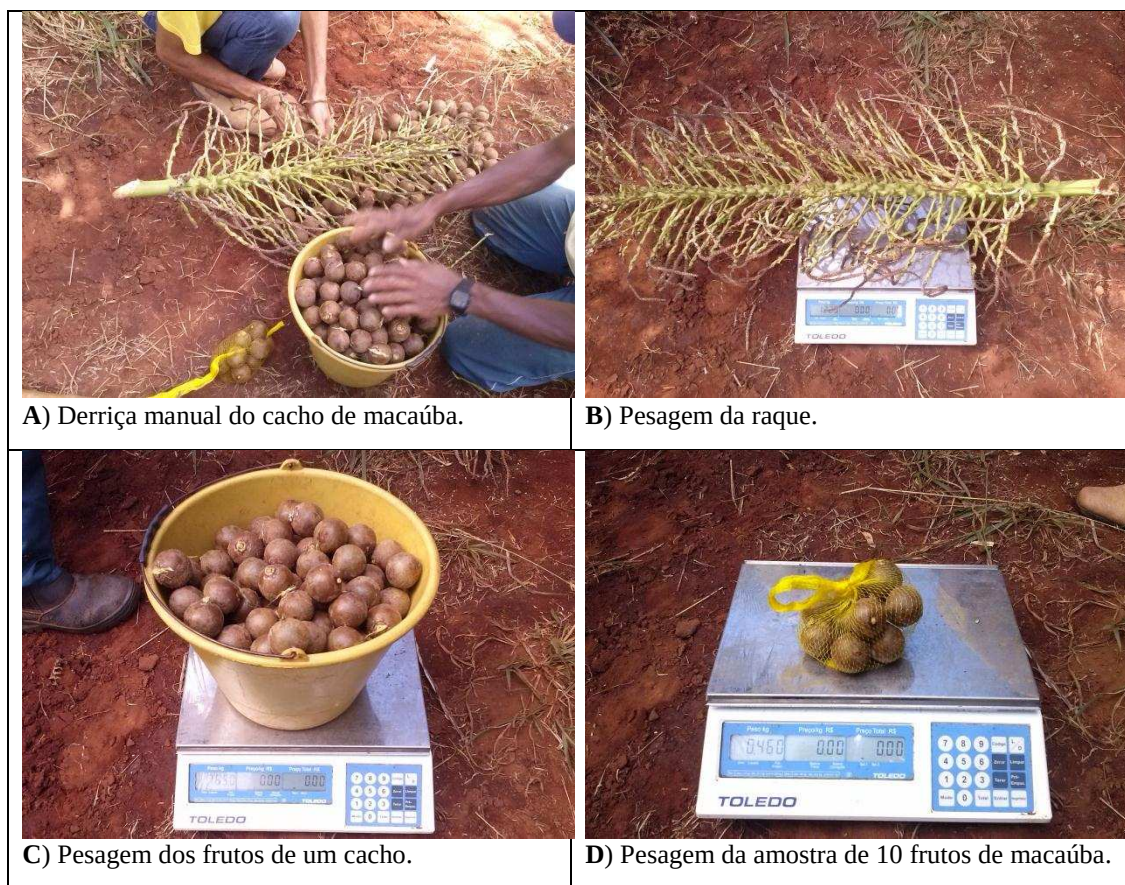


Figura 1 - Metodologia de colheita da macaúba adotada no experimento.

6.3. Características nutricionais

Foram avaliados os teores foliares de nitrogênio (N) e potássio (K). As coletas das amostras foliares nas plantas de macaúba foram realizadas nos meses de agosto de cada ano avaliado, com auxílio de um podão florestal, preparadas com tesoura de poda e armazenadas em sacos de papel identificados.

Cada unidade experimental compôs uma amostra foliar, ou seja, a coleta foi realizada nas três plantas e juntadas para compor uma amostra representativa da unidade experimental.

As amostras foliares foram compostas de folíolos da parte mediana da décima folha, dentro do intervalo recomendado por SANTOS (2015), ainda dispensando os terços apical e basal dos folíolos.

Após a coleta, os folíolos foram secados em estufa de circulação de ar forçada, a 65°C, durante 72 horas, moídas em moinho tipo Willey e então conduzidas ao Laboratório de Nutrição Mineral da Universidade Federal de Viçosa.

Para a determinação dos teores foliares de N, as amostras trituradas foram submetidas à digestão sulfúrica (JACKSON, 1958), e em seguida, quantificado pelo método colorimétrico de Kjeldahl, sendo o nutriente quantificado por titulometria pelo método descrito por Bremner (1965). Para determinação das concentrações de K, as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica (JOHNSON E ULRICH, 1959), e posteriormente quantificado por fotometria de chama.

7. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e regressão dos dados, posteriormente comparação de médias pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância. As doses para obtenção da máxima resposta foram calculadas igualando a zero a primeira derivada das equações de regressão. As análises foram realizadas com o auxílio do aplicativo computacional SAEG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de variância observou-se que não houve interação tripla entre os fatores doses de NK, acessos de macaúba e ano de avaliação para nenhuma das características avaliadas, sendo observado interação dupla apenas entre os fatores doses de NK e ano de avaliação para as características NEE, NCP, MRP, MFP, NFP e teores foliares de N e K, e entre os fatores acesso de macaúba e ano de avaliação para as características NEE e MMR (Tabela 2).

Não foi observada interação entre os fatores doses de NK e acesso de macaúba, demonstrando que o crescimento e a produção de plantas adultas de macaúba são pouco afetados pela interação entre os dois fatores (Tabela 2). Comportamento semelhante entre os fatores foi observado por Santos (2015) em macaúbas avaliadas até o quinto ano após o plantio, com efeito significativo da interação entre doses de NK e acesso apenas para a característica largura da folha.

As doses de NK proporcionaram ganhos para a maioria das características avaliadas, resultado já esperado, uma vez que a macaúba tem sua ocorrência natural correlacionada a solos eutróficos (MOTTA et al., 2002; TELES et al., 2011) e é considerada responsiva à adubação (PIMENTEL et al., 2015; SANTOS, 2015; PIMENTEL et al., 2016). Em geral, as palmáceas possuem grande exigência nutricional, em especial para o N e K, nutrientes extraídos e exportados em grandes quantidades, principalmente quando atingem os anos com maiores produções (SOBRAL, 1998; CORLEY e TINKER, 2003; SOBRAL e NOGUEIRA, 2008).

Os acessos de macaúba mostraram comportamentos diferenciados perante muitas características vegetativas e produtivas, demonstrando grande potencial para o melhoramento genético da cultura, quanto à seleção de genótipos com características desejáveis para a exploração econômica, como plantas mais responsivas à adubação e mais eficientes no uso de fertilizantes.

Quanto ao fator ano, seu efeito significativo para a maioria das características condiz com o esperado, uma vez que as avaliações foram realizadas no sexto e sétimo ano após o plantio e as perspectivas de maior estabilidade produtiva desta palmeira é próximo de uma década após o plantio (MOTOIKE et al., 2013).

Tabela 2 - Valores médios e quadrados médios das fontes de variação de características vegetativas e produtivas e teores foliares de N e K de macaúbas sob 5 doses de NK, em 3 acessos durante 2 anos ao nível de campo.

Tratamentos		NF	AP	PC	DC	NEE	NCP	MRP	MMR	MFP	MFC	MMF	NFP	NFC	N	K
		(m).....					(kg).....					(g)	(g.kg ⁻¹).....			
Dose NK	0 g/planta	15,37	4,71	5,00	0,34	0,65	0,56	0,271	0,185	1,816	1,173	17,74	43,84	28,45	18,26	7,68
	250 g/pl.	16,47	5,30	5,14	0,36	1,22	0,77	0,503	0,276	4,071	2,139	18,17	100,27	51,37	19,02	8,83
	500 g/pl.	21,49	6,48	5,56	0,43	2,44	1,86	1,037	0,425	7,188	2,889	31,83	211,03	83,89	19,23	8,93
	750 g/pl.	21,47	6,78	5,76	0,44	2,46	1,90	1,115	0,439	8,784	3,312	30,52	224,19	85,14	19,22	8,34
	1000 g/pl.	22,57	6,74	5,77	0,48	2,83	2,00	1,145	0,462	7,400	2,921	35,85	179,40	70,95	18,52	8,19
Acesso	BGP 9	18,07 b	5,25 b	5,20 b	0,38	1,72	1,16 b	0,582 b	0,271	3,952 b	1,732	21,717 b	107,26	47,44	18,53	8,49
	BGP 7	18,74 b	5,79 b	5,54 a	0,43	1,37	1,16 b	0,731ab	0,376	5,552 ab	2,854	22,570 b	158,19	77,55	19,08	8,57
	BGP 15	21,61 a	6,97 a	5,60 a	0,42	2,67	1,93 a	1,126 a	0,426	8,052 a	2,875	36,179 a	189,78	66,89	18,94	8,13
Ano	2015	19,50	5,63 b	5,42	0,39 b	0,88	0,76	0,375	0,223	2,315	1,319 b	19,94 b	56,95	32,91 b	19,98	10,49
	2016	19,45	6,38 a	5,47	0,43 a	2,95	2,08	1,253	0,492	9,388	3,654 a	33,70 a	246,54	95,01 a	17,72	6,29
.....Quadrados médios.....																
Dose NK (D)		195,76**	15,99**	2,29*	0,06*	15,73**	8,70**	2,90**	0,26**	145,09*	12,96 ^{ns}	1248,8**	107188,4*	10415,7*	3,44 ^{ns}	4,64 ^{ns}
Acesso (Ac)		106,44**	23,41**	1,38**	0,02 ^{ns}	13,51**	5,99**	2,37**	0,19*	128,11*	12,83 ^{ns}	1975,5**	52006,0 ^{ns}	6996,2 ^{ns}	2,49 ^{ns}	1,67 ^{ns}
Ano (A)		0,06 ^{ns}	12,68**	0,08 ^{ns}	0,04**	96,70**	39,12**	17,25**	1,63**	1125,60*	122,64**	4261,4**	808783,3**	86769,7**	115,22**	396,70**
DxAc		17,14 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,25 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,81 ^{ns}	28,39 ^{ns}	6,87 ^{ns}	434,66 ^{ns}	19114,3 ^{ns}	4573,8 ^{ns}	1,87 ^{ns}	0,95 ^{ns}
DxA		4,21 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,003 ^{ns}	5,83**	3,60**	1,33**	0,02 ^{ns}	72,93*	3,13 ^{ns}	113,38 ^{ns}	61486,0**	2281,2 ^{ns}	6,15*	10,88*
AcxA		1,36 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,006 ^{ns}	2,66**	0,14 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,09*	6,70 ^{ns}	3,81 ^{ns}	181,96 ^{ns}	3249,3 ^{ns}	2684,6 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,17 ^{ns}
DxAcxA		4,06 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,556 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,03 ^{ns}	20,24 ^{ns}	3,39 ^{ns}	198,01 ^{ns}	10729,9 ^{ns}	2112,2 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,73 ^{ns}
CV (%)		9,80	3,95	5,40	16,91	33,72	51,33	61,65	41,18	77,92	62,72	49,60	78,62	59,17	7,26	19,74

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Tukey, a 5% de significância. ^{ns}Não significativo. * e **Significativo pelo teste F, a 5 e 1% de significância, respectivamente. Dados: NF = número de folhas; AP = altura de planta; PC = projeção da copa; DC = diâmetro do coleto; NEE = número de espigas emitidas; NCP = número de cachos por planta; MRP = massa das raques por planta; MMR = massa média da raque; MFP = massa de frutos por planta; MFC = massa de frutos por cacho; MMF = massa média dos frutos; NFP = número de frutos por planta e NFC = número de frutos por cacho.

- **Características vegetativas**

Para as características vegetativas das macaúbas, as doses de NK tiveram efeito significativo em todas as características avaliadas, com AP, NF e PC se ajustando a modelos quadráticos. As máximas respostas para as características vegetativas da macaúba foram observadas próximas da maior dose aplicada no estudo (1000 g/planta de NK). A máxima resposta da macaúba para AP foi de 6,81 m, obtida com a dose de 955,88 g/planta de NK (Figura 2-B). O maior NF, de 22,80 folhas, e a maior PC, 5,85m, foram atingidos fora do intervalo das doses praticadas, com as doses de 1173,57 e 1285,65 g/planta de NK, respectivamente (Figura 2-A e 2-C).

Teles (2009), avaliando plantas em áreas de ocorrência natural no estado de Goiás, observou plantas com altura média de 5,5 m, valor próximo das alturas das macaúbas submetidas às menores doses de NK aplicadas neste estudo.

Maior número de folhas em macaúbas adubadas já havia sido observado por outros autores (BARLETO, 2011; SANTOS, 2015; PIMENTEL et al., 2015), com Barleto (2011) chegando a determinar a produtividade de folhas de 11,8 folhas/ano.

Para DC, a resposta em relação à dose de NK foi melhor representada pelo modelo linear, com incremento no diâmetro de 1,45 cm para cada 100 g da dose (Figura 2-D), indicando que a dose de NK aplicada foi insuficiente para a observação da maior resposta do diâmetro do coleto. Porém ainda não há estudos de correlação da medida do coleto com desempenho produtivo da macaúba, podendo o DC observado próximo da maior dose, de 0,48 m para 1000 g/planta de NK, ser o suficiente para observação de vigor vegetativo da macaúba. Teles (2009) observou diâmetro do caule de 0,21 m em macaúbas de ocorrência natural no estado de Goiás, porém usou a metodologia de medir a 0,20 m do solo e não próximo ao solo (no coleto da planta), como no presente trabalho.

Ganhos em características vegetativas proporcionados por suprimento balanceado de nutrientes podem ter reflexos positivos em diversas direções, como maior vigor das plantas de macaúba na fase de crescimento juvenil (PIMENTEL et al., 2015), maior capacidade de captação de água de chuva (CORRÊA et al., 2016), melhor desempenho em sistema silvipastoril, precocidade na fase reprodutiva e em específico para N e K, crescimento ótimo da planta, resistência a pragas e doenças, qualidade dos frutos e melhor desempenho diante de déficit hídrico (MARSCHNER,

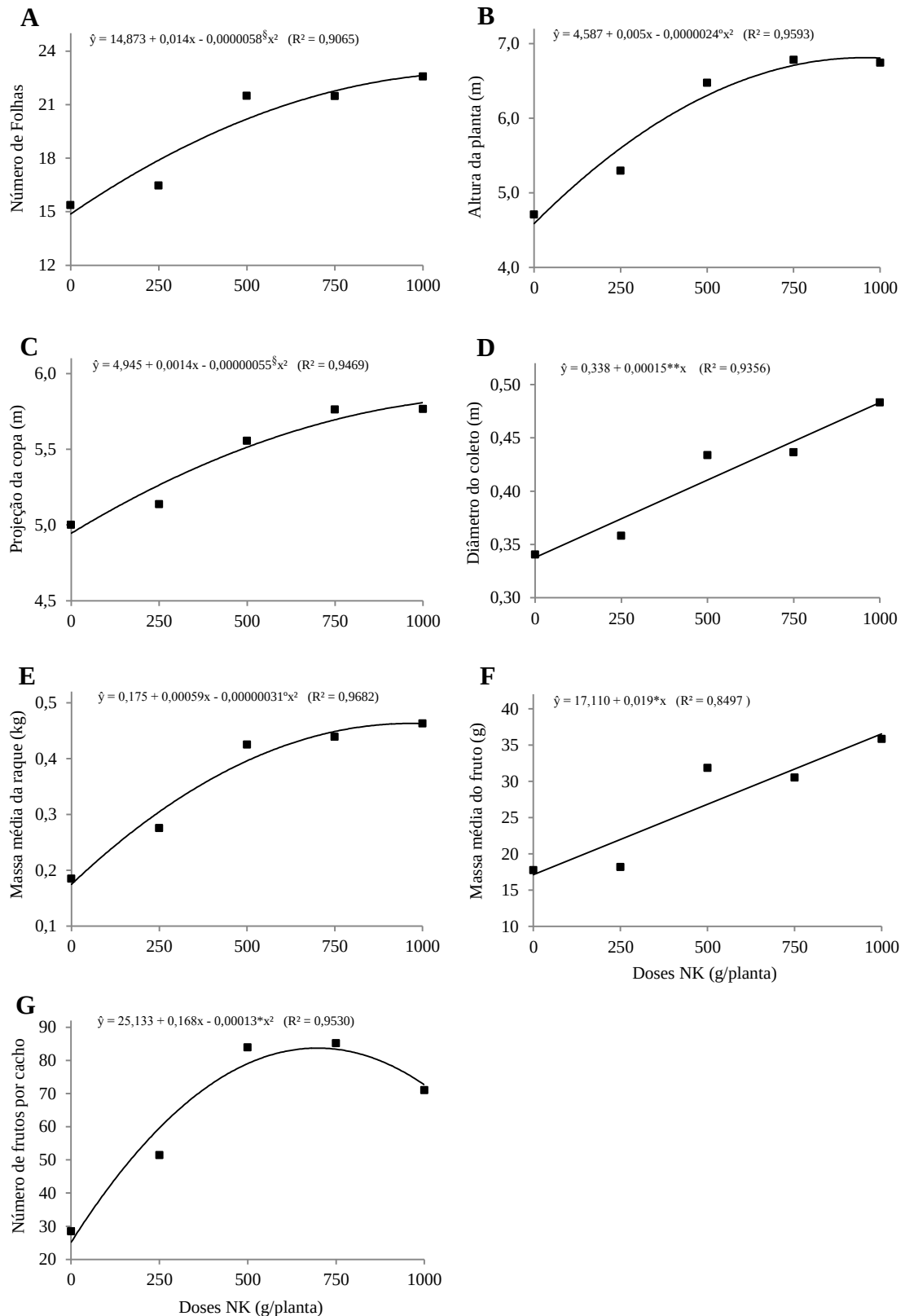


Figura 2 - Número de folhas (A), altura de planta (B), projeção da copa (C), diâmetro do coleto (D), massa média da raque (E), massa média do fruto (F) e número de frutos por cacho (G) em função de doses de NK. Dados: **, *, ° e §: Significativo a 1, 5, 10 e 20 % de significância, respectivamente, pelo teste t.

2012; MALAVOLTA, 2006). Contudo, adubações em excesso podem gerar conflitos com os interesses produtivos, como excesso de vigor vegetativo e menor diferenciação floral e produção (MARSCHNER, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Em relação ao fator acessos de macaúba, o acesso Barroso (BGP 15) obteve melhores resultados para as características AP, NF e PC, esta última não diferindo significativamente do acesso Betim (BGP 7) (Tabela 2).

O fator ano de avaliação não apresentou efeito significativo para as características vegetativas NF e PC. Esta observação pode estar mostrando uma estabilização no crescimento da copa das macaúbas no sexto e sétimo ano após o plantio, primeiros anos de produção. O efeito significativo do fator ano em relação à AP já era esperado devido o incremento de altura ao longo do ciclo da maioria das palmáceas (Tabela 2).

- **Características produtivas**

Para o estudo das características produtivas da macaúba é importante observar como é realizada a colheita da cultura. No modelo extrativista a colheita é realizada coletando os frutos caídos naturalmente no chão, havendo a retirada apenas dos frutos da área, mas em cultivos racionais e em maior escala a colheita deve ser realizada com o corte do cacho, semelhante à colheita do dendê, para maior praticidade e rendimento nesta etapa, além de maior qualidade nos produtos finais. Deste modo, para uma melhor compreensão da produção é necessário a abordagem não apenas de variáveis ligadas aos frutos, mas também das demais partes do cacho que farão parte da colheita e até, talvez, do processamento na indústria, como a raque.

Para as características produtivas apenas a característica MFC não apresentou efeito significativo em função das doses de NK aplicadas (Tabela 2), podendo estar relacionado ao fato do NCP ter um aumento linear em função das doses, em ambos os anos de avaliação (Figura 3-B). Assim, o ganho na produção de frutos estaria mais condicionada ao aumento no número de cachos do que ao aumento na massa dos cachos.

No desdobramento da interação entre os fatores doses de NK e ano de avaliação, constatou-se que a adubação com NK obteve melhores resultados em 2016, sétimo ano após o plantio. Os dados observados para NEE, MRP, MFP e NFP

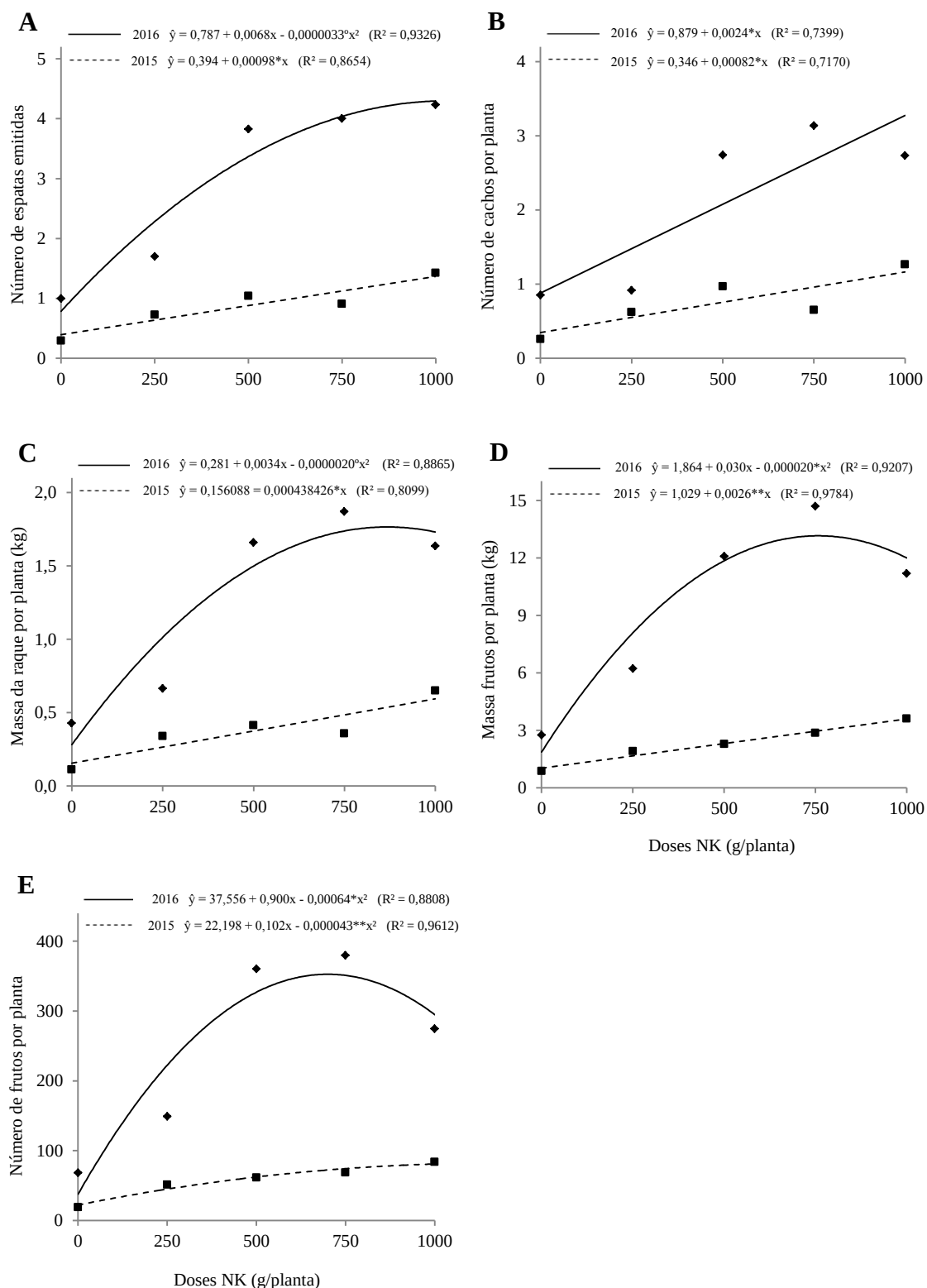


Figura 3 - Desdobramento da interação entre doses de NK e os anos de avaliação, quanto a: número de espatas emitidas (A), número de cachos por planta (B), massa de raque por planta (C), massa de frutos por planta (D) e número de frutos por planta (E). **, * e °: Significativo a 1, 5 e 15 % de significância, respectivamente, pelo teste t.

obtiveram ajustes dos modelos quadráticos no sétimo ano de idade das macaúbas (2016), com as máximas respostas observadas de 4,4 espatas, 1,8 kg, 13,2 kg e 353,2 frutos, respectivamente, obtidas com as doses de 1.030,62 g, 867,73 g, 757,64 g e 700,10 g/planta de NK, respectivamente (Figura 3-A, 3-C, 3-D e 3-E).

Valim (2015), em condições de cultivo racional, observou produções de 8,1 espatas por macaúba, 6,8 cachos/planta, 1.035,4 frutos/planta e 302,9 frutos/cacho. Teles (2009) relata a observação de 3,2 cachos em plantas adultas de ocorrência natural em Goiás. Já Conceição et al. (2013), também com plantas de ocorrência natural, porém em Minas Gerais, observaram 3,1 cachos, além de uma produção de 61,2 kg e 16,7 kg de frutos por planta e por cacho, respectivamente. Os valores observados neste estudo, mesmo nas melhores doses de NK, mostraram-se abaixo dos dados citados, exceto para NCP, com valores muito próximos dos observados por Teles (2009) e Conceição et al. (2013).

A comparação entre dados produtivos de macaúba ainda geram muitas dificuldades, uma vez que a maioria dos resultados são de estudos em maciços naturais da espécie, devido a quase inexistência de cultivos racionais. Mas o principal ponto que gera discrepâncias entre os resultados comparados é a avaliação por parte dos outros autores apenas de plantas que estão em plena produção, uma vez que o presente estudo levou em consideração todas as plantas, que apesar da mesma idade, não se encontravam todas em produção. Esta dificuldade nas comparações pode persistir enquanto a macaúba estiver em fase de domesticação, não havendo ainda variedades comerciais ou cultivares, caracterizadas pela homogeneidade e estabilidade quanto às características das plantas e suas sucessivas gerações (BORÉM e MIRANDA, 2009).

No sexto ano após o plantio (2015), os dados das características produtivas NEE, NCP, MRP e MFP obtiveram ajustes dos modelos lineares positivos em função das doses de NK, não podendo ser observadas as máximas respostas (Figura 3-A, 3-B, 3-C e 3-D). Apenas a característica NFP teve comportamento quadrático, com a máxima resposta sendo atingida com a dose 1.184,39 g/planta de NK, dose 40% maior que a que proporcionou maior ganho no ano seguinte, e com uma produção 4,2 vezes menor (Figura 3-E). Isso mostra que melhores conclusões para uma recomendação de adubação de produção para a macaúba devem ser obtidas no último ano avaliado, em função de uma produção mais uniforme, representativa do potencial da cultura e que realmente mostre eficiência dos nutrientes aplicados.

As características MMR, NFC e MMF foram influenciadas pelas doses de NK de forma isolada, assim como as características vegetativas, obtendo-se ajuste dos modelos quadráticos para as duas primeiras características, com maiores ganhos obtidos nas doses de 966,12 e 668,53 g/planta de NK, respectivamente (Figura 2-E e 2-G). O valor máximo de NFC foi de 81,3 frutos, valor abaixo do observado por Valim (2015), de 302,9 frutos.

Observa-se que o NFC máximo ocorreu em uma dose relativamente baixa quando comparada com as doses que proporcionaram melhores respostas para as demais variáveis, como de 757,64 g/planta de NK que proporcionou a máxima produção de frutos por planta (MFP) no ano de 2016 (Figura 2-G e 3-D). A justificativa pode ser dada com a observação do modelo linear positivo ajustado para MMF em relação às doses de NK, onde a massa dos frutos é crescente em relação ao aumento da dose de NK, o que possibilita atingir a maior produção de frutos (MFP) mesmo com a queda do NFP a partir da dose supracitada (Figura 2-F, 3-D e 2-G).

No desdobramento da interação entre os fatores acesso de macaúba e ano de avaliação, observou-se maiores valores de NEE e MMR para todos os acessos no ano de 2016. Para a característica NEE, o acesso Barroso (BGP 15) obteve melhor desempenho no ano de 2016, assim como no ano de 2015, quando não diferiu significativamente do acesso Betim (BGP 7), semelhante ao observado para MMR no ano de 2016 (Tabela 3).

Tabela 3 - Desdobramento da interação entre acessos de macaúba e anos de avaliação, quanto a: número de espatas emitidas (NEE) e massa média da raque (MMR).

Acesso	Ano de avaliação	
	2015	2016
NEE		
Piranga (BGP 9)	0,58 Bb	2,87 Ab
Betim (BGP 7)	0,67 Bab	2,07 Ac
Barroso (BGP 15)	1,40 Ba	A 3,93 Aa
MMR (kg)		
Piranga (BGP 9)	0,197 Ba	0,344 Ab
Betim (BGP 7)	0,200 Ba	0,552 Aa
Barroso (BGP 15)	0,272 Ba	0,580 Aa

* Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha entre os anos e minúscula na coluna entre os acessos, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Em relação ao fator acesso de macaúba para as características produtivas, o acesso Barroso (BGP 15) também obteve os melhores resultados em relação NCP, e MMF, não diferindo estatisticamente do acesso Betim (BGP 7) para MRP e MFP (Tabela 2).

O estudo isolado da influência do fator ano de avaliação para as características produtivas é aplicado apenas para MFC, MMF e NFC, com os maiores valores sendo observados em 2016, quando as plantas se encontravam no sétimo ano após o plantio, ano com aumento expressivo de produção em comparação ao anterior (Tabela 2).

A irregularidade observada para as características produtivas, mesmo entre plantas dos mesmos acessos, pode ter ocorrido devido à heterogeneidade do início da fase reprodutiva, sendo encontradas no experimento plantas no terceiro, no segundo e no primeiro ano de produção e algumas sem ainda ter iniciado a fase reprodutiva. Esta ocorrência pode ser explicado pela grande variabilidade genética da espécie (MANFIO et al., 2011; MANFIO et al., 2012; ARAÚJO et al., 2017).

- **Teores foliares**

Os teores foliares de N e K seguiram mesmo comportamento nos dois anos de avaliação em função da dose de NK aplicada. No ano de 2015 os teores dos dois nutrientes foram melhor representados pelo modelo raiz quadrática, com um rápido incremento até atingir o máximo teor em torno da dose de 250 g/planta de NK e uma queda mais suave de acordo com o aumento da dose. Em 2016, os teores obtiveram melhor ajuste do modelo quadrático e com máximos teores de 18,32 e 7,05 g kg⁻¹, para as doses de 700,53 e 957,24 g/planta de NK, para N e K respectivamente (Figura 4-A e 4-B).

A redução nos teores foliares ao longo dos anos de crescimento da macaúba também foi observada por Santos (2015), com os maiores teores de N e K sendo obtidos nas avaliações do terceiro e quarto ano após o plantio. Comparando teores foliares de N e K avaliados em macaúbas de diferentes idades em diferentes trabalhos observa-se a mesma tendência, com teores médios de 29,55 g kg⁻¹ de N e 20,20 g kg⁻¹ de K para mudas de macaúba (PIMENTEL, 2012), 26,40 g kg⁻¹ de N e 8,02 g kg⁻¹ de K para plantas jovens (2 a 2,5 anos) (PIRES et al., 2013; PIMENTEL et al., 2015) e 15,82 g kg⁻¹ de N e 7,72 g kg⁻¹ de K para plantas adultas (macaúbas de

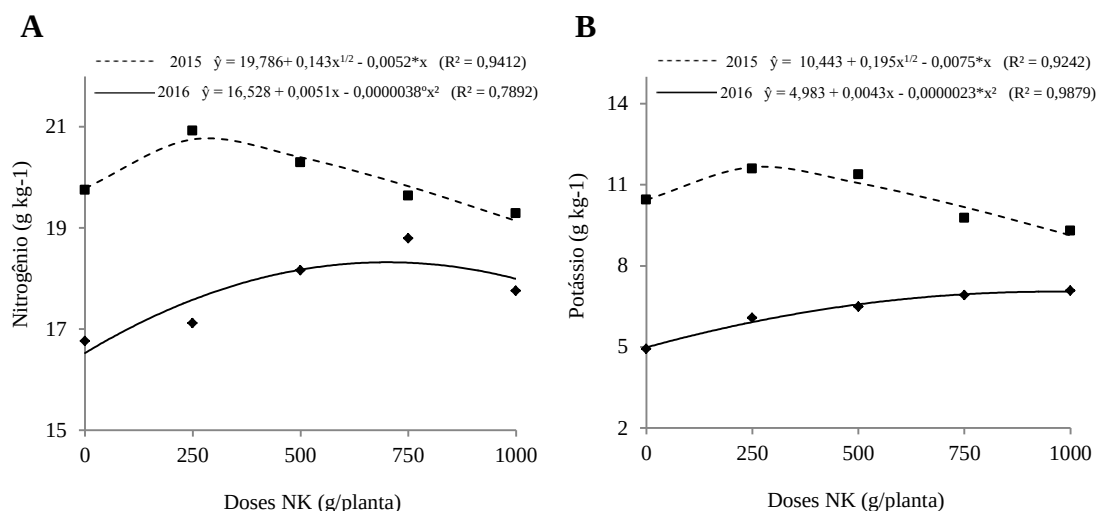


Figura 4 - Desdobramento da interação entre doses de NK e os anos de avaliação, quanto aos teores foliares de nitrogênio (A) e potássio (B). **, * e °: Significativo a 1, 5 e 15 % de significância, respectivamente, pelo teste t.

ocorrência natural em GO e MG e cultivadas com 5 anos) (TELES et al., 2008; SANTOS, 2015).

Esta redução gradativa dos teores foliares pode estar relacionada a uma possível diluição dos teores dos nutrientes perante o crescimento da planta ao longo do tempo (JARREL e BEVERLY, 1981). Segundo Bataglia (1996) a taxa de absorção dos nutrientes na fase inicial do crescimento vegetativo é alta e pode acarretar maiores concentrações nos tecidos vegetais, como observado por Maia (2012) pra N e K na cultura da bananeira.

Os estudos ligados a nutrição mineral da macaúba ainda são recentes e não há determinação de níveis críticos ou faixas de suficiência de teores foliares para a cultura, o que dificulta a avaliação do estado nutricional das plantas avaliadas e impede melhores conclusões sobre a suficiência das doses de NK aplicadas diante da observação de teores foliares. Porém, os teores máximos de N e K observados, de 18,32 e 7,05 g kg⁻¹, respectivamente, estão muito próximos dos teores médios para macaúbas adultas nos trabalhos supracitados, assim como dos níveis críticos estabelecidos para a cultura do coqueiro gigante, de 18,0 e 8,0 g kg⁻¹ de N e K, respectivamente (Sobral, 1998).

Os teores foliares observados na dose 757,64 g/planta de NK, a qual proporcionou a maior produção de frutos (MFP) no sétimo ano após o plantio (2016), são muito semelhantes às máximas respostas observadas, com 18,31 e 6,95 g kg⁻¹ de

N e K, respectivamente, o que sustenta a garantia que esta dose seria capaz de proporcionar maior produção e ainda não acarretar o esgotamento nutricional das plantas, devido a translocação e redistribuição para as partes das plantas consideradas drenos, sejam de crescimento vegetativo ou reprodutivo, sobretudo para nutrientes considerados móveis no floema, como o N e o K (MARSCHNER, 2012; MALAVOLTA, 2006).

Os resultados observados neste estudo significam grande avanço na nutrição mineral da macaúba, com a melhor compreensão do efeito de doses de N e K, nutrientes extraídos e exportados em maior quantidade pela cultura (PIMENTEL, 2012; SANTOS, 2015), em plantas adultas de 6 e 7 anos de diferentes acessos. Os conhecimentos desenvolvidos no estudo podem subsidiar ajustes e uma melhor calibração das doses de N e K recomendadas por Pimentel et al. (2011), proporcionando maior segurança para um correto manejo nutricional de cultivos racionais da espécie.

CONCLUSÕES

Plantas adultas de macaúba são responsivas à adubação nitrogenada e potássica.

A maior produtividade de frutos observada no sétimo ano foi na dose de 758 g/planta de NK na proporção de 0,42 e 0,58. Porém, o máximo desenvolvimento vegetativo foi observado para doses superiores a esta, indicando que doses muito elevadas de nitrogênio e potássio podem induzir a planta a priorizar o desenvolvimento vegetativo em detrimento à produtividade.

Os acessos de macaúba originários de diferentes regiões de Minas Gerais apresentam respostas diferenciadas em relação às doses de nitrogênio e potássio aplicadas, sendo o acesso Barroso (BGP 15) mais responsivo.

O efeito temporal interfere positivamente no desenvolvimento vegetativo e produtivo da macaúba, com destaque para o incremento produtivo do sexto para o sétimo ano de idade de macaúbas cultivadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M. R. G.; MELO JÚNIOR, A. F.; MENEZES, E. V.; BRANDÃO, M.; COTA, L. G.; OLIVEIRA, D. A.; ROYO, V. A.; VIEIRA, F. A. Fine-scale spatial genetic structure and gene flow in *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): Analysis in an overlapping. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 71, p. 147-154, 2017.
- BARLETO, E. A. **Respostas ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de nutrientes.** Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília/UNB. Brasília, DF, 2011. 135 f.
- BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R.; SANTOS, W. R. Princípio da diagnose foliar. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M.P.F. **Os solos nos grandes domínios morfológicos do Brasil e o desenvolvimento sustentável.** Viçosa, MG, SBCS, UFV, DPS, 1996. 930p.
- BORÉM, Aluizio; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas.** 5 ed., Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- BREMNER, J. M. Total nitrogen. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, p. 1149-1178, 1965.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, p. 769-850, 2007.
- Centro Tecnológico de Minas Gerais / Ministério Indústria e Comércio (CETEC-MG). **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais (VI):** Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. Belo Horizonte: Relatório Final Convênio STI-MIC-CETEC. 1983. 152 p.
- CONCEIÇÃO, L. D., ANTONIASSI, R., JUNQUEIRA, N., BRAGA, M., ROGÉRIO, J., DUART, I., BELLON, G. Potencial da macaúba e avaliação de maciços. In Embrapa Agroindústria de Alimentos- **Anais** In: Congresso Brasileiro de Macaúba, 1., 2013, Patos de Minas. Consolidação da cadeia produtiva: anais. Brasília, DF: MAPA, 2013.
- CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The oil palm.** Blackwell Science, Oxford, 4 ed., 2003. 608p.
- CORRÊA, J. B. L., DIAS, H. C. T., SATO, A. Y., TONELLO, K. C., FERRAZ, A. G., FERREIRA, F. M. The influence of the number of leaves in the macaúba palm *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. on the correlation between stemflow and gross precipitation. **Revista Árvore**, v. 40, n. 3, p. 387-393, 2016.
- EVARISTO, A. B., GROSSI, J. A. S., CARNEIRO, A. D. C. O., PIMENTEL, L. D., MOTOIKE, S. Y., KUKI, K. N. Actual and putative potentials of macauba

- palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 85, p. 18-24, 2017.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, PrenticeHall, 1958. 498p.
- JARRELL, W. M., BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies, In: **Advance in Agronomy**. ed Brady N. C. (Academic Press, New York, NY), v. 34, p 197–224, 1981.
- JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles, University of California, v. 766, p. 32-33, 1959.
- LANES, E. C. M.; COSTA, P. M. A.; MOTOIKE, S. Y. Alternative fuels: Brazil promotes aviation biofuels. **Nature**, v. 511, n. 7507, p. 31-31, 2014.
- MAIA, C. E. Época de amostragem foliar para diagnóstico nutricional em bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 859-861, 2012.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MANFIO, E. C.; MOTOIKE, S. Y.; SANTOS, C. E. M.; PIMENTEL, L. D.; QUEIROZ, V.; SATO, A. Y. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 70-76, 2011.
- MANFIO, E. C.; MOTOIKE, S. Y.; RESENDE, M. D. V.; SANTOS, C. E. M.; SATO, A. Y. Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 63-69, 2012.
- MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants** (3 ed.) London: Academic Press, 2012. 651p.
- MOTOIKE, S. Y.; LOPES, F. A.; SÁ JUNIOR, A. Q.; CARVALHO, M.; OLIVEIRA, M. A. R. Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*. **Patente: PI0703180-7**. 2007.
- MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. The Potential of Macaw Palm(*Acrocomia aculeate*) as Source of Biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, n. 6, p. 632-635, 2009.
- MOTOIKE, S. Y.; CARVALHO, M.; PIMENTEL, L. D.; KUKI, K. N.; PAES, J. M. V.; DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y. **A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 61 p.
- MOTTA, P. E. F.; CURIN,.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Occurrence of macaúba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic,

- pedological and vegetation attributes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p. 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.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; TEIXEIRA, C. M.; MOTOIKE, S. Y.; PEDROSO NETO, J. C. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1º aproximação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 32, n. 265, p. 20-30, 2011.
- PIMENTEL, L. D. **Nutrição Mineral da macaúba: bases para adubação e cultivo**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012. 115 p.
- PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H. ; MARTINEZ, H. E. P.; MOTOIKE, S. Y.; MANFIO, E. C.; SANTOS, RC. Effect of Nitrogen and Potassium Rates on Early Development of Macaw Palm. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1671-1680, 2015.
- PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MANFIO, E. C.; ; MOTOIKE, S. Y.; MARTINEZ, H. E. P. Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macaw palm seedling production. **Revista Árvore**, v. 40, p. 235-244, 2016.
- PIRES, T. P.; SOUZA, E. S., KUKI, K. N.; MOTOIKE, S.Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013.
- SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO, L.G.; SILVA, F.F.; CARVALHO ALVES, M. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, p. 1-7, 2012.
- SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. D.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. D. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2º ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- SANTOS, R. C. **Aspectos nutricionais e resposta da macaúba a adubação com nitrogênio e potássio**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015. 85 p.
- 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 ed., Brasília: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 129-157, 1998.
- SOBRAL, L. F.; NOGUEIRA, L. C. Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1675-1682, 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2013. 918 p.

- TELES H. F.; RESENDE C. F. A.; LEANDRO W. M.; PIRES L. L.; TAVARES P. V. A.; SANTOS R. A. S. G. Teores de nutrientes em folhas de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em diferentes estádios fenológicos no cerrado goiano. In: **Anais** do IX Simpósio Nacional do Cerrado; 12-17 out 2008; Brasília. ParlaMundi, Brasília, DF.
- TELES, H. F. **Caracterização de ambientes com Ocorrência natural de *Acrocomia aculeata* (jacq.) Lodd. Ex mart. E suas populações nas regiões Centro e sul do estado de Goiás.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2009. 137f.
- TELES, H. F.; PIRES, L. L.; GARCIA, J.; ROSA, J. Q. S.; FARIAS, J. G.; NAVES, R.V. Ambientes de ocorrência natural de macaúba. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v, 41, n. 4, p. 595-601, 2011.
- VALIM, Hellen de Melo. **Variabilidade em progênies de macaúba com base em variáveis quantitativas relacionadas a aspectos agronômicos e características físicas dos frutos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – UNB, Brasília, 2015. 41 p.
- VIÉGAS, I. J. M.; BOTELHO, S. M. Nutrição mineral do dendezeiro. In: VIÉGAS, I. J. M.; MULLER, A. A. (Ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 229-273, 2000. 374 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo traz contribuições para a nutrição mineral da macaúba, com a consolidação da metodologia de amostragem foliar e ensaios de adubação nitrogenada e potássica com plantas cultivadas na fase reprodutiva.

De acordo com o estudo, observa-se que existe um período de menores variações sazonais de nutrientes nas folhas de macaúba, podendo ser recomendado como época de amostragem foliar, e a macaúba é responsiva a adubação nitrogenada e potássica na fase reprodutiva da planta.

Estudando os teores foliares em função de épocas de amostragem, observou-se que existem variações sazonais nos teores de N, P, K, Ca, S, Mn e Fe nas folhas de macaúba ao longo do ano e a amostragem foliar para interpretação do estado nutricional deve ser realizada entre os meses de maio e junho, uma vez que este é o período com menores variações sazonais dos nutrientes minerais, menor influência de déficit ou excesso de chuvas e menor demanda de órgãos em formação (drenos).

No estudo do efeito de doses de nitrogênio e potássio (na proporção de 0,42 de N e 0,58 de K), observou-se ganhos positivos nas características vegetativas em função das doses, com máximas respostas próximas da maior dose aplicada (1000 g/planta de NK), e para a maioria das características produtivas os maiores ganhos ocorreram no sétimo ano após o plantio, com maior produtividade de frutos na dose de 757,64 g/planta de NK. Essa diferença entre os efeitos das doses de NK nas características vegetativas e produtivas levantam a necessidade de aprofundamento no estudo dos dois nutrientes em outras proporções e de forma isolada, uma vez que o excesso de ambos ou de um em detrimento do outro pode interferir na produção (frutificação) em decorrência de excesso de vigor vegetativo, principalmente em relação ao excesso de N.

A diagnose foliar e ensaios de adubação são importantes ferramentas na consolidação da nutrição mineral da cultura da macaúba, mas podem ter baixa eficiência se aplicados de forma individual, devendo ser utilizadas em conjunto para um correto manejo nutricional da cultura. A aplicação simultânea dos avanços dos dois estudos podem gerar ajustes significativos em programas de adubação para a macaúba.

Assim, sugere-se a continuidade dos ensaios de adubação para melhores conclusões diante de plantas com maior estabilidade produtiva e o uso da época de

amostragem foliar para a determinação de parâmetros de comparação entre teores foliares e o crescimento e produção das plantas, como determinação de níveis críticos e/ou faixas de suficiência específicos para a cultura da macaúba.