RAFAEL CARLOS DOS SANTOS

ASPECTOS NUTRICIONAIS E RESPOSTA DA MACAÚBA A ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

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

T
S237a
2015

Santos, Rafael Carlos dos, 1985-
Aspectos nutricionais e resposta da macaúba a adubação com nitrogênio e potássio / Rafael Carlos dos Santos. – Viçosa, MG, 2015.
viii, 85f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.
Orientador: Sergio Yoshimitsu Motoike.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Acrocomia aculeata. 2.* Macaúba. 3. Plantas e solo. 4. Plantas - Nutrientes. 5. Nutrição mineral. 6. Plantas - Efeito do nitrogênio. 7. Plantas - Efeito do nitrogênio. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 634.851

RAFAEL CARLOS DOS SANTOS

ASPECTOS NUTRICIONAIS E RESPOSTA DA MACAÚBA A ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO

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

APROVADA: 03 de setembro de 2015.

_____	_____
Renildes Lúcio Ferreira Fontes	Domingos Sávio Queiroz
_____	_____
Hermínia Emília Pietro Martinez (Coorientadora)	Júlio Cesar Lima Neves (Coorientador)

_____

Sergio Yoshimitsu Motoike
(Orientador)

Ofereço

À minha esposa Bruna, pelo amor, carinho, companheirismo e incentivo
À meus sogros e cunhadas pelo apoio e acolhimento
À todos os amigos que torceram por mim

Aos meus pais Raimundo e Zelinda, aos meus irmãos Dayane, Danielly, Douglas, Débora, à minhas sobrinhos Emanuelly, Yasmim e Josué, aos meus avós Antônia e Efigênio Lucas (in memorian), os quais me proporcionaram conhecer o significado de se ter uma família.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus sobre todas as coisas;

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade;

Ao CNPq e a CAPES pela bolsa de estudos;

Ao professor Sérgio Y. Motoike pelo acolhimento, orientação, apoio e incentivo;

Aos professores Júlio Cezar Lima Neves, Hermínia Emília P. Martinez, José Antônio S. Grossi e Leonardo Duarte Pimentel pelo apoio e orientação;

Aos funcionários de campo do setor de fruticultura, especialmente ao funcionário Carlos Roberto (Bebeto) pela valiosa colaboração e prestatividade;

Aos funcionários dos laboratórios de Pós-colheita, Biotecnologia e Melhoramento Vegetal, Cultura de Células e Tecidos, Nutrição Mineral de Plantas e de Micorrizas pelo apoio na realização das análises;

Aos funcionários da Estação Experimental de Araponga – MG, pelo valioso auxílio na condução das atividades de campo;

Aos colegas do setor de fruticultura e do grupo REMAPE pela amizade o companheirismo;

À todos os amigos que fiz durante essa nova jornada e aqueles que mesmo distantes sempre torceram por mim.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

Rafael Carlos dos Santos, filho dos agricultores familiares Zelinda Maria de Jesus e Raimundo Batista dos Santos, nasceu no dia 4 de setembro de 1985 na cidade de Governador Valadares, MG.

Cursou o ensino fundamental de 1992 a 2000 na Escola Municipal Araripe Júnior, localizada no distrito de Brejaubinha, zona rural do município de Governador Valadares, MG. Finalizou o ensino médio na Escola Estadual Prof. Nelson de Sena em 2003, ano em também foi aprovado no vestibular para o Curso de Agronomia da Universidade Vale do Rio Doce, onde foi bolsista e obteve graduação em junho de 2008.

Em agosto deste mesmo ano iniciou o curso de mestrado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, submetendo a defesa da dissertação em fevereiro de 2011. Nesse mesmo ano iniciou o curso de doutorado na referida universidade obtendo em setembro de 2015 o título de *Doctor Scientiae.*

SUMÁRIO

RESUMO..... vii
ABSTRACT..... viii
INTRODUÇÃO GERAL..... 1
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 4

ARTIGO I – DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES E ACUMULO DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE MACAÚBA..... 6
Resumo..... 6
Abstract..... 7
Introdução..... 8
Material e Métodos..... 9
Resultados..... 12
Discussão..... 19
Conclusões..... 23
Referências bibliográficas..... 24

ARTIGO II – ACUMULO E EXPORTAÇÃO DE MATÉRIA SECA E NUTRIENTES EM PLANTAS DE MACAÚBA..... 27
Resumo..... 27
Abstract..... 28
Introdução..... 29
Material e Métodos..... 30
Resultados..... 36
Discussão..... 44
Conclusões..... 48
Referências bibliográficas..... 49

ARTIGO III – RESPOSTA DA MACAÚBA À DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA..... 52
Resumo..... 52
Abstract..... 53
Introdução..... 54

Material e Métodos..... 55
Resultados..... 58
Discussão..... 63
Conclusões..... 67
Referências bibliográficas..... 68

CONCLUSÕES GERAIS..... 71

APENDICES..... 72

RESUMO

SANTOS, Rafael Carlos dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2015. **Aspectos nutricionais e resposta da macaúba a adubação com nitrogênio e potássio.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientadores: Hermínia Emília Pietro Martinez e Júlio Cesar Lima Neves.

A macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) é uma palmeira oleaginosa com ampla dispersão no Brasil, sendo encontrada em praticamente todas as regiões do país. A elevada produção da macaúba e a possibilidade de aproveitamento integral do seu fruto, associada a rusticidade e adaptabilidade da espécie, tem atraído cada vez mais a atenção de segmentos da indústria alimentícia, cosmética, de biocombustíveis e oleoquímica. Além disso, a macaúba tem sido apontada como uma das espécies mais promissoras para a geração de matéria prima para a produção de biocombustíveis, dos quais se destacam o biodiesel e o bioquerosene. Entretanto, para que a macaúba seja consolidada nesta perspectiva é preciso estruturar uma cadeia produtiva da cultura, estabelecendo sistemas de cultivo, os quais dependem do conhecimento dos aspectos nutricionais da cultura. Os objetivos deste estudo foram: avaliar os teores de nutrientes e acúmulo de biomassa e nutrientes nas diversas partes da planta, avaliar a resposta a adubação nitrogenada e potássica nas plantas em estágio juvenil no campo. No primeiro estudo, cinco plantas adultas e produtivas de macaúba em condições naturais foram mensuradas quanto as características biométricas e produtivas. Posteriormente foram abatidas determinando-se a biomassa da matéria seca e os teores de nutrientes na biomassa seca das diferentes partes da planta. No segundo estudo, avaliou-se o efeito de cinco doses de NK (0, 115, 230, 346 e 461 g/planta na proporção de 0,42:0,58 para N e K_2O, respectivamente) no crescimento de plantas juvenis de macaúba. Verificou-se no primeiro estudo que o maior acúmulo de nutrientes nas folhas ocorreu na porção mediana da copa das plantas de macaúba; o maior acumulo de massa e nutrientes na planta foi observado no caule; potássio, cálcio e nitrogênio foram os nutrientes mais extraídos, acumulados e exportados pela macaúba. No segundo estudo, observou-se que a adubação com NK promoveu o crescimento das planta de macaúba; os teores foliares de N e K foram reduzidos com o crescimento das plantas. Os resultados obtidos possibilitam um melhor entendimento dos aspectos nutricionais da macaúba, auxiliando no ajuste das recomendações de adubação da cultura.

ABSTRACT

SANTOS, Rafael Carlos dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September of 2015. **Nutritional aspects and macaw palm response of fertilization with nitrogen and potassium.** Advisor: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Co-Advisors: Hermínia Emília Pietro Martinez and Júlio Cesar Lima Neves.

The macaw palm (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart.) is a palm oil tree with wide dispersion in Brazil, being found in virtually all regions of the country. The high production of macaw palm and the possibility of full use of its fruit, associated the hardiness and adaptability of the species, has increasingly attracted the attention of segments of the food industry, cosmetics, biofuels and oleochemicals. Furthermore, the macaw palm has been identified as one of the most promising species for the generation of raw material for biofuel production, among which are biodiesel and bio-kerosene. However, for macaw palm to be consolidated in this perspective it is necessary to structure a supply chain of crop, establishing farming systems, which depend on the knowledge of the nutritional aspects of crop. The objectives of this study were to evaluate the nutrient content and accumulation of biomass and nutrients in different parts of the plant, evaluating the response to fertilization with nitrogen and potassium. In the first study, five adult and productive plant of macaw palm in natural conditions were measured as biometric and productive characteristics. Subsequently, they were slaughtered by determining the biomass of dry matter and nutrient content in the dry biomass of different parts of the plant. In the second study, assessed the effect of five rates of NK (0, 115, 230, 346 and 461 g/plant in the proportion of 0.42: 0.58 N and K_2O, respectively) on the growth of juvenile macaw palm plants. It was checked in the first study that the greatest accumulation of nutrients in the leaves was in the middle portion of the canopy of macaw palm plants; the largest accumulation of mass and nutrients was observed in the stem; potassium, calcium and nitrogen were the more extracted, packed and exported nutrients by macaw palm. In the second study, we found that fertilization with NK promoted the growth of macaw palm plant; the foliar content of N and K have been reduced with the plant growth process. These results allow a better understanding about nutritional aspects of macaw palm, assisting in the setting of crop fertilizer recommendations.

INTRODUÇÃO GERAL

A geração de energia a partir de fontes renováveis, conciliando desenvolvimento socioeconômico e uso racional dos recursos ambientais, tem sido pauta frequente nas discussões da política internacional (Motoike & Kuki, 2009). O Brasil tem se mostrado pioneiro na pesquisa e utilização de fontes renováveis de energia e tem promovido grande estimulo aos setores de biocombustíveis com criação de programas de estimulo, tal como o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) (Cesar, et al., 2015).

Recentemente, nova demanda por combustíveis renováveis emerge do setor de aviação na forma de bioquerosene, o qual tem como objetivo a redução de emissões dos gases do efeito estufa das aeronaves (Lanes et al., 2015). Nesse contexto, o cultivo de espécies oleaginosas de elevada densidade energética é fundamental para atender à essa crescente demanda (Motoike & Kuki, 2009). Dentre as espécies utilizadas atualmente para essa finalidade, a macaúba tem se mostrado uma das mais promissoras para a produção sustentável de óleo para fins energéticos no Brasil (Motoike & Kuki, 2009; Lanes, et al., 2014; Cesar, et al., 2015).

A macaúba (*Acrocomia aculeata* – [Jacq.] Lodd. Ex Martius) é uma palmeira oleífera nativa das florestas tropicais do continente americano (Lanes et al., 2014). No Brasil, é considerada a palmeira de maior dispersão, com ocorrência de povoamentos naturais em quase todo território, sendo as maiores concentrações localizadas em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Lorenzi, 2006).

A macaúba produz cachos densos que podem atingir 30 kg, alcançando produtividade anual de 70 a 80 kg de frutos por planta (Scariot et al., 1995; Motoike e Kuki, 2009). Os frutos são ricos em óleo podendo o teor alcançar 70 % no mesocarpo (CETEC, 1983). Assim, diversos autores reconhecem que a macaúba possa produzir cerca de 5.000 L/ha/ano de óleo (CETEC, 1985; Motoike & Kuki 2009; Pimentel et al., 2011; Motoike et al., 2013).

Além da elevada produção, tanto de frutos quanto de óleo, outro aspecto importante é a possibilidade de uso integral do fruto, tendo em vista o valor agregado dos coprodutos. Após o processamento dos frutos para extração do óleo (mesocarpo e/ou amêndoa) a torta gerada pelo processo pode ser utilizada para alimentação animal e o endocarpo fortemente lignificado pode ser transformado em carvão ou briquetes para a geração de energia (Motoike & Kuki, 2009; Pires et al., 2013; Lanes et al.,

2014b). Acrescenta-se ainda que por ocorrer de forma espontânea em pastagens, a macaúba possa ser utilizada como espécie promissora para o estabelecimento de sistema silvopastoris, sendo utilizada no estabelecimento e reforma de pastagens degradadas (Motoike & Kuki, 2009).

Por todas essas potencialidades a macaúba tem atraído cada vez mais a atenção de segmentos da indústria alimentícia, cosmética, de biocombustíveis e oleoquímica. Apesar do grande interesse atual em se desenvolver e consolidar a cadeia produtiva da macaúba, o sistema de exploração adotado atualmente ainda é baseado no extrativismo, caracterizando-se pela baixa produtividade e qualidade dos produtos gerados (Motoike & Kuki, 2009; Abreu et al., 2011; Pires et al., 2013). De acordo com Moura et al. (2009) e Motoike & Kuki (2009) a utilização da macaúba em escala comercial depende do estabelecimento de sistemas de cultivo racional.

Apesar de ser uma espécie considerada adaptada a diferentes tipos de solos e níveis de fertilidade, Motta et al. (2002) ressaltam que a ocorrência de macaúba está comumente associada a solos de maior fertilidade natural, podendo ser considerada como indicadora de solos mesotróficos. Também Pimentel (2012) relata que a macaúba é responsiva à adubação.

Por se tratar de uma espécie ainda em fase de domesticação, há carência de estudos a respeito de suas exigências nutricionais, de modo que, para o manejo nutricional e recomendação de adubação tem sido tomados como referência os conhecimentos disponíveis para outras palmáceas cultivadas, como por exemplo, o coco e o dendê (Pimentel et al., 2011).

Os poucos trabalhos relacionados aos aspectos de nutrição mineral da cultura resumem-se aos estudos realizados por Motta et al. (2002) e Costa (2009) os quais relacionaram a ocorrência da macaúba com atributos edáficos e ambientais; Barleto (2011) que avaliou as respostas fotossintéticas e nutricionais da macaúba sob condições de irrigação, fertilização e sazonalidade climática; e Pimentel (2012) que caracterizou os sintomas de deficiência nutricional em mudas e a resposta à diferentes níveis de fertilização em plantas cultivadas em viveiro e em condições de campo.

São necessários conhecimentos básicos e indispensáveis ao manejo nutricional da cultura, de forma a contribuir para o estabelecimento de cultivos sustentáveis, tais como o acúmulo e partição de biomassa e nutrientes nas diferentes partes da planta, a(s) folha(s) adequada para avaliação do estado nutricional e a resposta da planta à adubação com NK.

Este estudo teve como objetivos avaliar os teores e acúmulo de nutrientes e recomendar o intervalo de folhas para amostragem; determinar a quantidade de biomassa e de nutrientes acumulados, imobilizados, recicláveis e exportados em plantas adultas e produtivas; e avaliar a resposta a adubação com NK nas plantas em estágio juvenil no campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, I. S.; CARVALHO, C. R.; CARVALHO, G. M. A.; MOTOIKE, S. Y. First karyotype, DNA C-value and AT/GC base composition of macaw palm *(Acrocomia aculeata,* Arecaceae*)* – a promising plant for biodiesel production. **Australian Journal of Botany**, v. 59, p. 149–155, 2011.

BARLETO, E. A. **Respostas Ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de nutrientes**. 2011. 135f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CÉSAR, A. S.; ALMEIDA, F. A.; SOUZA, R. P.; SILVA, G. C.; ATABANI, A. E. The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1213-1220, 2015.

CETEC-MG: Centro Tecnológico de Minas Gerais / Ministério Indústria e Comércio - TI. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Série Documentos, n. 16. 1985. 364p.

COSTA, C. F. **Solos e outros fatores ambientais associados à diversidade fenotípica de macaubais no estado de São Paulo**. 2009. 68f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agronômico, Campinas, SP.

LANES, E. C. M.; COSTA, P. M. A.; MOTOIKE, S. Y. Brazil promotes aviation biofuels. **Correspondence**. Nature, v. 511, 2014a.

LANES, E. C. M.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; NICK, C.; FREITAS, R. D. Molecular Characterization and Population Structure of the Macaw Palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), Ex Situ Germplasm Collection Using Microsatellites Markers. **Journal of Heredity**, 2014b.

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

MOURA, E. F.; VENTRELLA, M. C.; MOTOIKE, S. Y.; SÁ JÚNIOR, A. Q.; CARVALHO, M. ; MANFIO, C. E. Histological study of somatic embryogenesis induction on zygotic embryos of macaw palm (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 95, p. 175-184, 2008.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1023-1031, 2002.

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, 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**. Editora UFV. Viçosa, MG, 2013. 61p.

PIMENTEL, L. D.; BRUCNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; TEIXEIRA, C. M.; MOTOIKE, S. Y.; NETO, J. C. P. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1ª aproximação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG: EPAMIG, v. 32, n. 265, p. 20-30, 2011.

PIMENTEL, L. D. **Nutrição mineral da macaúba: bases para adubação e cultivo**. 2012. 126f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIRES, T. P.; SOUZA, E. S.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S.Y. Ecophysiological traits of macaw palm: A contribution towardas the domestication of a novel oil crop. **Ind. Crop Prod**. v. 44, p. 200-210, 2013.

SCARIOT, A.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Flowering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. **Biotropica**, Washington, v. 27, n. 2, p. 168-173, 1995.

ARTIGO I

DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES E ACUMULO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS DA MACAÚBA

Resumo – O estabelecimento de critérios para amostragem foliar com vistas ao manejo nutricional, é de grande importância para a implantação de cultivos racionais de macaúba no brasil. Este trabalho teve por objetivo estudar a variação nos teores, conteúdo e o acúmulo de macro e micronutrientes nas folhas dispostas em diferentes posições na copa das plantas, e recomendar as folhas a serem amostradas para análise química com fins de avaliação do estado nutricional da cultura. Foram coletadas as folhas de cinco plantas de macaúba adultas e produtivas, das quais foram determinados os teores e conteúdo de nutrientes na biomassa seca dos folíolos e da haste principal da folha. Observou-se variação nos teores de N entre os folíolos e a haste foliar com maiores valores nos folíolos das folhas da porção mediana da copa. Houve redução nos teores de P e K das folhas da porção apical para as da porção basal. Houve aumento nos teores dos demais nutrientes nas folhas do ápice para a base da copa, com exceção ao Ca para o qual não se obteve ajuste dos modelos testados. O maior acúmulo de nutrientes ocorreu nas folhas da porção mediana da copa das plantas de macaúba. A amostragem foliar deve ser feita entre a nona e décima terceira folha na porção mediana da copa.

Termos para indexação: Conteúdo de nutrientes, *Acrocomia aculeata*, faixa de estabilidade, folíolos, haste foliar.

DISTRIBUTION OF CONTENT AND NUTRIENT ACCUMULATION IN MACAW PALM LEAVES

Abstract – The establishment of criterion for leaf sampling with propose to nutritional management is of great importance for the implantation of rational macaw palm in Brazil. This study aimed to analyze the variation of content, concentration and accumulation of macro and micronutrients in the leaves of different positions in tree canopy, and recommend the leaf to be sampled for chemical analysis to evaluation of the crop nutritional status. The leaves of five adult and productive plants of macaw palm were collected, which were determined the content and nutrient concentration in the dry biomass of the leaflets and the main stem of the leaf. The N content was different between the leaflets and the stem with higher values in the leaflets of leaves in the middle portion of the canopy. There was a reduction in P and K content in the leaves of apical to basal proportion in the canopy. There was an increase in the content of other nutrients in the apical leaves to basal ones in the canopy, except the Ca for which was not obtained adjustment of the models tested. The greatest accumulation of nutrients occurs in the leaves of the middle portion of the canopy of macaw palm. The leaf sampling must be made between the ninth and thirteenth leaves in the middle portion of the canopy.

Index terms: nutrient content, *Acrocomia aculeata*, stability range, leaflets, leaf stem.

Introdução

A macaúba *(Acrocomia aculeata)* tem se destacado no cenário atual de busca por culturas agroenergéticas de elevado potencial produtivo, de modo que, o estabelecimento de cultivos racionais tem se tornado questão chave para a consolidação da cadeia produtiva da cultura no Brasil.

Nesta perspectiva, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de fornecer informações e tecnologias que viabilizem este processo. O estudo dos aspectos nutricionais é de grande importância possibilitando o manejo nutricional, bem como a recomendação da adubação a ser aplicada na cultura. A adição de nutrientes ao solo, por meio de adubações criteriosamente recomendadas, constitui prática indispensável ao êxito de qualquer atividade agrícola ou silvícola (Tisdale et al., 1984). Todavia, a aplicação racional de nutrientes por meio da adubação requer informações sobre a disponibilidade de nutrientes no solo, e sobre o estado nutricional da planta (Marschner, 1995).

A disponibilidade de nutrientes no solo pode ser determinada com certa facilidade e rapidez pela análise química do solo. Entretanto, a determinação do estado nutricional, sobretudo de plantas perenes e arbóreas, requer análises mais complexas, as quais demandam maior tempo de execução. Além disso, é importante considerar que a composição mineral dos tecidos vegetais pode ser influenciada por uma série de fatores pertinentes à própria planta (variedade, estádio vegetativo, idade, distribuição e eficiência do sistema radicular, produção) e ao ambiente (variações climáticas, disponibilidade, de água e nutrientes no solo, tipo e manejo do solo e interações entre nutrientes) (Martinez et al., 2003).

Para fins de monitoramento do estado nutricional, o teor de nutrientes na folha tem sido a característica mais utilizada. Por tratar-se do local onde ocorrem as principais reações metabólicas, refletindo de maneira mais clara as alterações fisiológicas decorrentes de distúrbios nutricionais, a folha é considerada o órgão que melhor representa o estado nutricional das plantas (Martin-Prevel et al., 1984; Malavolta et al., 1997; Marschner, 1995). Entretanto, para se obter um resultado confiável e que reflita o real estado nutricional da planta é preciso que se tenha um prévio conhecimento de quais folhas devem ser amostradas para este fim.

Na definição da folha a ser amostrada deve ser considerado o estágio fisiológico e a posição da folha na copa da planta, uma vez que, durante o ciclo de desenvolvimento da planta há variação na concentração de alguns elementos nas

folhas. É relatado que nas folhas mais velhas há o aumento na concentração de alguns nutrientes, sobretudo os de baixa mobilidade no floema como Ca e Mg, enquanto a de outros decresce, como por exemplo, N, P e K, ocorrendo translocação desses nutrientes das partes em senescência para regiões de crescimento das plantas, sobretudo para folhas novas (Kumar & Pandey, 1979; George et al., 1989; Marschner, 1995).

Para a cultura do dendê (*Elaeis guineenses)* Viegas & Botelho (2000) recomendam que para diagnose do estado nutricional, seja amostrada a folha 17 em planta adultas e a folha 9 em plantas jovens. Para a cultura do coco *(Cocus nucífera)* Sobral (1998) recomenda a amostragem da folha 14 em plantas adultas e das folhas 4 e 9 em plantas jovens. Para a macaúba, por se tratar de uma cultura em fase de domesticação, não existem estudos que norteiem a recomendação de um critério de amostragem. Acrescenta-se ainda, que não foram encontrados até o presente momento estudos abordando a variação dos nutrientes nas folhas da copa da macaúba.

Diante da carência dessas informações e da importância das mesmas para o diagnóstico nutricional na cultura da macaúba, este trabalho teve por objetivo estudar a variação nos teores, conteúdo e o acúmulo de macro e micronutrientes nas folhas dispostas em diferentes posições na copa das plantas, e recomendar as folhas a serem amostradas para análise química visando a avaliação do estado nutricional da cultura.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em uma propriedade rural no município de Acaiáca, MG (20°23'47,0"S e 43°08'14,6"O, a 560 metros de altitude). Foram coletadas as folhas de cinco plantas de macaúba *(Acrocomia aculeata)* adultas e produtivas, nas quais foram determinados os teores e conteúdo de nutrientes na biomassa seca dos folíolos e da haste principal da folha.

As folhas foram colhidas de plantas selecionadas em um maciço de ocorrência natural em área de pastagem de *Brachiaria decumbens,* sendo as características biométricas dessas plantas apresentadas na Tabela 1. A área experimental estava situada no terço inferior de uma encosta, tendo o solo sido classificado no local como Argissolo Vermelho distrófico – PVd, cujos os atributos físico-químicos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Características biométricas das plantas de macaúba avaliadas.

Plantas	Altura	DAP	NF	Produção		Partes senescidas		
	(m)			NC	MSF (kg)	NFS	NCS	NES
1	9,72	0,31	24	6	6,12	92	20	20
2	8,84	0,34	23	6	1,63	72	7	7
3	9,4	0,34	18	4	3,89	30	3	3
4	10,51	0,32	20	3	3,02	47	10	10
5	9,39	0,35	24	5	7,00	65	11	11

DAP = diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m; NF = número de folhas verdes; MSF = massa da matéria seca de frutos; NFS = número de folhas senescidas; NCS = número de cachos senescidos; NES = número de espatas senescidas.

Tabela 2. Características físico-químicas do solo onde foram amostradas as plantas de macaúba.

pH	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m
(H_2O)	----mg dm^{-3}----		.....$cmol_c$ dm^{-3}.....							.....%.....	
5,10	0,60	21,00	0,60	0,30	0,30	2,15	0,95	1,25	3,10	31,00	24,00
MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	AG	AF	Silte	Argila	Classe Textural
dag kg^{-1}	mg L^{-1}	.....mg dm^{-3}.....					.....dag kg^{-1}.....				.....
1,97	27,60	0,30	53,10	33,00	2,00	0,10	36	17	9	38	Argilo-Arenosa

Dados:
P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; Mat. Org. (MO) – Método Walkley-Black; AG = areia grossa; AF = areia fina.

As plantas foram derrubadas sendo as folhas cortadas, separadas e organizadas em ordem numérica crescente do ápice para a base, segundo a disposição na copa da planta como mostrado na Figura 1. Posteriormente foram separados os folíolos da haste principal e pesados separadamente para obtenção da massa da matéria fresca.

A massa da matéria seca (MS) das folhas (Haste principal + folíolos), foi determinada a partir da massa da matéria fresca (MF), descontando-se o percentual de umidade. A MF por sua vez foi medida individualmente no campo por pesagem das estruturas em balança com precisão de 0,005 kg. Após a obtenção da MF foram retiradas amostras compostas e representativas, dos folíolos e das hastes, as quais foram secas em estufa de circulação e renovação de ar à temperatura de

aproximadamente 65 ºC, até a estabilização da massa de matéria seca, procedendo-se o cálculo do teor de água.

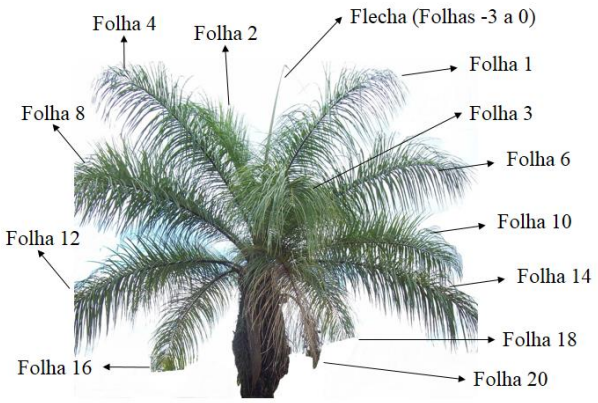

Figura 1 – Esquema ilustrativo da ordenação das folhas em função da disposição na copa da planta de macaúba.

Obs.: na ilustração não são mostradas na contagem as folhas localizadas na face sul da planta.

Posteriormente as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, passadas em peneira com malha de 2 mm e submetidas à digestão nitroperclórica (Johnson & Ulrich, 1959). O P foi determinado pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974). O K foi determinado por fotometria de chama. Ca, Mg, Fe, Mn e Zn foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC,1975), e o S por turbidimetria do sulfato (Jackson,1958). Para determinação dos teores de N, o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica (Jackson, 1958), sendo o nutriente quantificado por titulometria de acordo com o método descrito por Bremner (1965).

O conteúdo de nutrientes na haste e nos folíolos foi calculado multiplicando-se o teor de cada nutriente pela MS da respectiva estrutura. Estabeleceu-se como critérios para determinação das folhas a serem amostras para análise, a faixa de estabilidade do acúmulo de nutrientes. Para essa faixa de estabilidade considerou-se as folhas na copa da planta nas quais houve uma variação de ± 2,5 % do máximo acúmulo de macro e micronutrientes nos folíolos. A partir das faixas obtidas para cada nutriente procedeu-se a interpolação dos valores, sendo selecionado as folhas compreendidas no intervalo central e comum à maioria dos nutrientes, sendo este denominado intervalo de amostragem. Posteriormente foi feita a comparação entre os intervalos obtidos para os folíolos e haste foliar, visando a recomendação da parte da folha a ser utilizada para amostragem.

Considerando a importância do equilíbrio entre nutrientes na avaliação do estado nutricional das plantas, foi pré-estabelecido o estudo das relações N/P, nos folíolo e haste foliar, dentro do intervalo de amostragem.

Os dados referentes aos teores e conteúdo de nutrientes nos folíolos e na haste foliar em função da posição da folha na copa das plantas, foram submetidos à análise de regressão linear. A significância dos coeficientes das regressões foi testada pelo teste t a 5 % de probabilidade, tendo sido selecionados os modelos mais adequados à representação das relações estudadas. Para obter a folha com o máximo teor e conteúdo de nutrientes foram calculadas as derivadas parciais, igualando-se a zero a primeira derivada das equações de regressão.

Resultados

Os modelos de regressão ajustados para os teores de macronutrientes nas folhas em diferentes posições na copa das plantas, mostraram que houve diferença quanto à variação dos teores de N e P nas haste e nos folíolos (Figura 2A e 2B).

O modelo quadrático foi o que apresentou melhor ajuste aos teores de N nos folíolos, de modo que, o máximo teor de 17,03 g kg^{-1} de N foi obtido na folha 8. Para os teores na haste foliar foi observado melhor ajuste do modelo cúbico, com redução acentuada dos teores de N nas folhas da parte superior da copa. Nas hastes compreendidos entre as folhas 4 e 8 observou-se uma tendência de estabilização dos teores em torno de 3,20 g kg^{-1} de N (Figura 2A).

Para os teores de P o modelo linear decrescente foi o que melhor se ajustou aos dados para o folíolo, já na haste foliar obteve-se melhor ajuste para ao modelo cúbico. Nos folíolos houve redução dos teores de P nas folhas do ápice para a base da copa da planta, ao passo que, na haste foliar esta redução foi mais acentuada nas folhas da parte superior da copa. Observou-se que a partir da folha 9 houve tendência de estabilização dos teores na haste foliar em torno de 0,38 g kg^{-1} de P (Figura 2B).

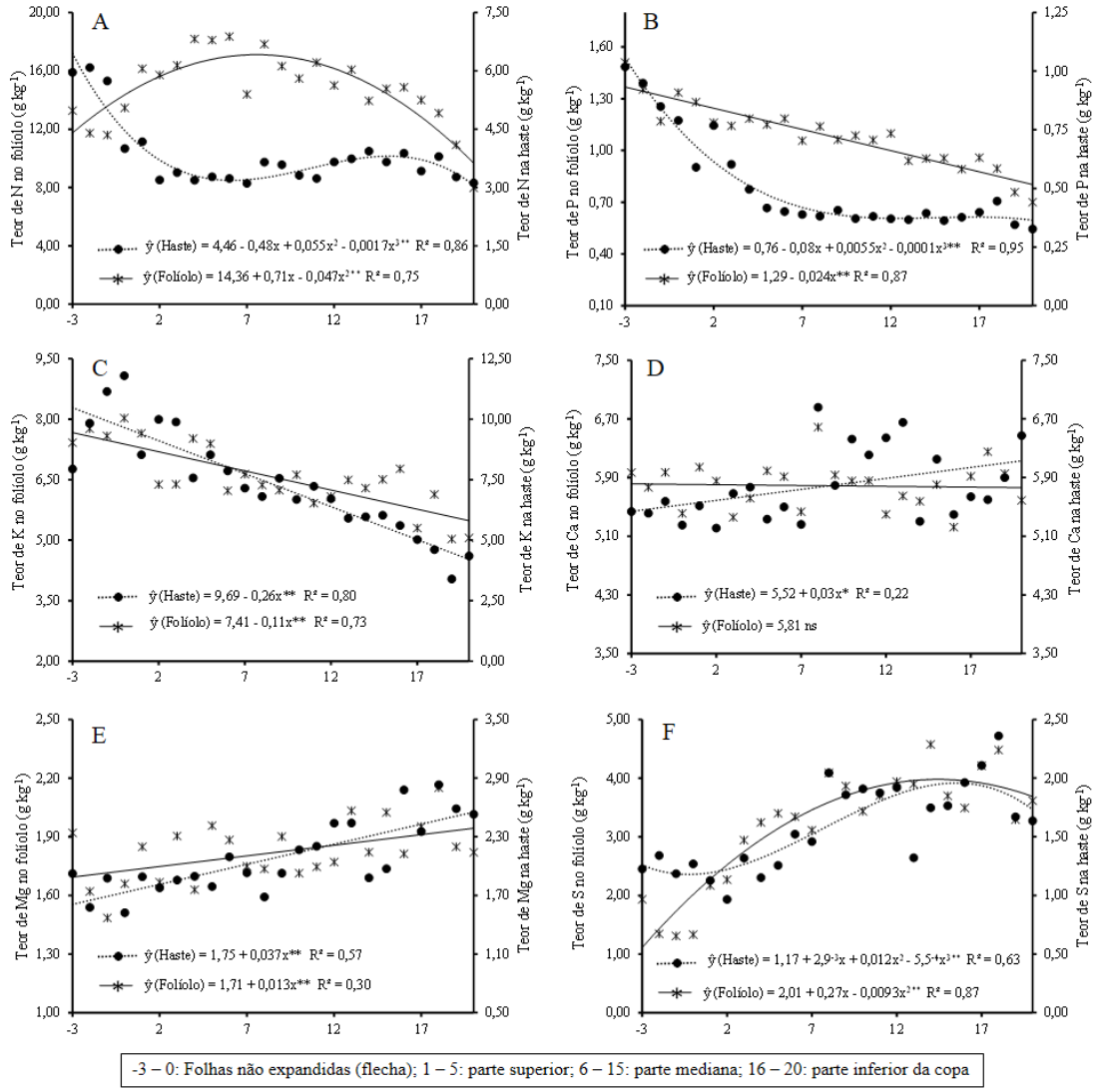

Figura 2 – Teores de macronutrientes nos folíolos e haste foliar em diferentes posições do ápice para a base da copa de plantas de macaúba adultas e produtivas. ns, *, ** = não significativo, significativo a 5 e 1 % pelo teste t.

Os teores de K mostraram variação semelhante nos folíolos e na haste foliar, obtendo-se o melhor ajuste do modelo linear decrescente, com redução nos teores nas folhas do ápice para a base da copa (Figura 2C). Para os teores de Ca no folíolo não foi obtido ajuste dos modelos testados. Já para os teores na haste foliar obteve-se ajuste do modelo linear, entretanto, o modelo mostrou baixa capacidade preditiva, evidenciada pelo baixo coeficiente de determinação (Figura 2D). Para os teores de Mg nos folíolos e na haste obteve-se ajuste do modelo linear crescente, com aumento dos teores do elemento nas folhas ao longo da copa (Figura 2E). Para os teores de S o melhor ajuste foi obtido para o modelo quadrático nos folíolos e cúbico na haste foliar.

Obtiveram-se os máximos teores de 3,97 e 2,00 g kg^{-1} de S para ambas as estruturas, na folha 15 (Figura 2F).

Com relação aos micronutrientes avaliados, os teores de Mn nos folíolos obteve-se melhor ajuste do modelo cúbico, apresentando duas regiões com pontos de máximo acúmulo do elemento, o primeiro na folha 5 com 69,54 mg kg^{-1} de Mn (parte superior) da copa e o segundo na folha 20 com 71,71 mg kg^{-1} de Mn (porção inferior da copa). Para os teores na haste foliar obteve-se melhor ajuste do modelo quadrático, com o máximo teor de 144,91 mg kg^{-1} de Mn na haste da folha 18 (Figura 3A).

A variação dos teores de Cu nos folíolos foi melhor representada pelo modelo linear decrescente, mostrando redução nos teores das folhas do ápice para a base da copa. Para os teores na haste foliar não houve ajuste dos modelos testados (Figura 3B). Com relação aos teores de Fe nos folíolos o modelo quadrático foi o apresentou melhor ajuste, com aumento dos teores do elemento até o valor máximo de 229,29 mg kg^{-1} na folha 19. Para os teores na haste foliar obteve-se melhor ajuste ao modelo linear crescente com aumento contínuo no teor do elemento do ápice para a base da copa (Figura 3C).

Para os teores de Zn nos folíolos obteve-se melhor ajuste do modelo cúbico, mostrando uma redução acentuada nas folhas da parte superior da copa. Observou-se estabilização dos valores de Zn nos folíolos das folhas da parte mediana da copa, compreendidas no intervalo entre as folhas 6 a 17, seguido de um pequeno decréscimo nos folíolos das folhas da parte inferior (Figura 3D).

Com relação à variação no conteúdo de macronutrientes, tanto nos folíolos quanto nas folhas, obteve-se melhor ajuste do modelo quadrático para a maioria dos nutrientes, com exceção ao conteúdo de P na haste e S no folíolo. Foi observado incremento a partir das folhas iniciais até alcançar o máximo acumulo com posterior redução nas folhas da parte inferior da copa (Figura 4).

Para o conteúdo de N, o máximo acumulo de 10,23 g/folíolo foi obtido na folha 9, e de 2,21 g/haste foi obtido na folha 12 (Figura 4A). A faixa de estabilidade dos conteúdos de N ficou compreendida entre as folhas 7 a 12 para os folíolos e 9 a 16 para a haste foliar (Figura 6A e 6B, respectivamente).

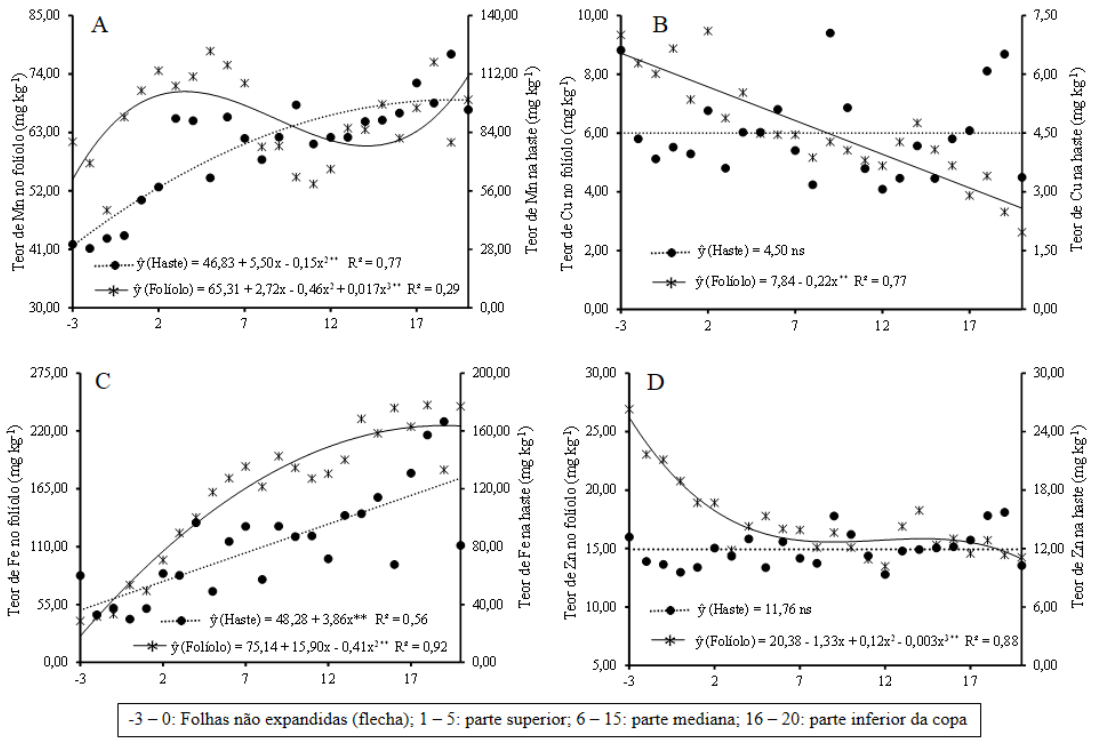

Figura 3 – Teores de micronutrientes nos folíolos e haste foliar em diferentes posições do ápice para a base da copa de plantas de macaúba adultas e produtivas. ns, *, ** = não significativo, significativo a 5 e 1 % pelo teste t.

O conteúdo de P apresentou máximo acúmulo de 0,65 g/folíolo na folha 8 e 0,30 g/haste na haste da folha 16. A faixa de maior estabilidade dos conteúdos de P ficou compreendida no intervalo entre as folhas 6 a 11 para os folíolos e 15 a 19 para a haste foliar (Figura 6A e 6B, respectivamente). Contudo, é importante destacar que para o conteúdo de P nas haste foliar, o modelo ajustado apesar de significativo, mostrou baixa capacidade preditiva, evidenciada pelo baixo coeficiente de determinação (Figura 4B).

O máximo conteúdo de K foi de 3,96 g/folíolo na folha 10 e 4,75 g/haste na folha 8 (Figura 4C). A faixa de maior estabilidade dos conteúdos de K ficou compreendida no intervalo entre as folhas 7 a 12 para os folíolos e 6 a 10 para a haste foliar (Figura 6A e 6B, respectivamente). Para o Ca o máximo conteúdo foi de 3,22 g/folíolo na folha 8 e 3,89 g/haste na folha 13 (Figura 4D). A faixa de maior estabilidade dos conteúdos de Ca ficou compreendida no intervalo entre as folhas 6 a 11 para os folíolos e 10 a 16 para a haste foliar (Figura 6A e 6B, respectivamente).

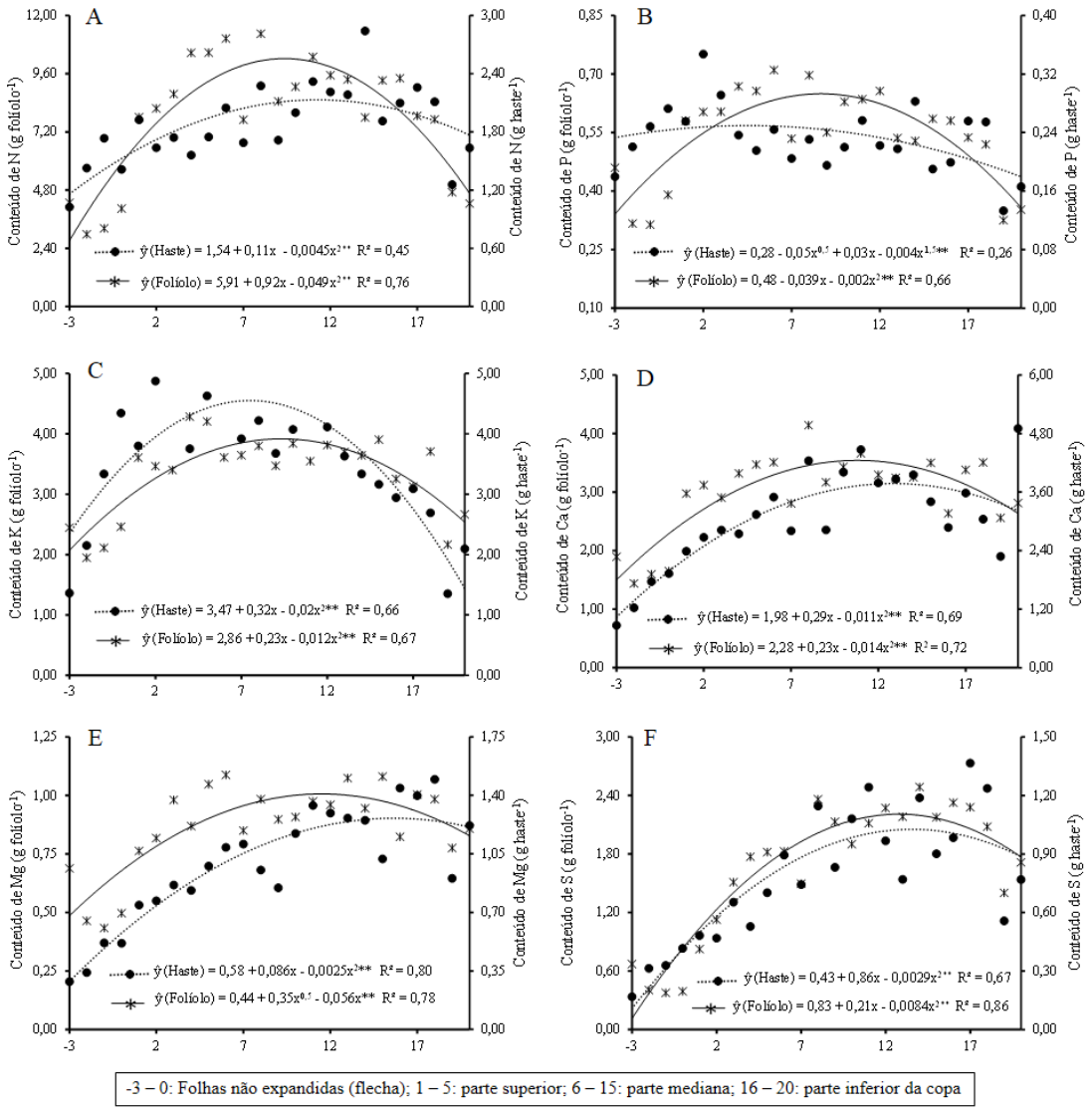

Figura 4 – Conteúdos de macronutrientes nos folíolos e haste foliar em diferentes posições do ápice para a base da copa das plantas de macaúba adultas e produtivas. *, ** = significativo a 5 e 1 % pelo teste t.

O máximo conteúdo de Mg foi de 0,99 g/folíolo na folha 8 e 1,32 g/haste na folha 17 (Figura 4E). A faixa de maior estabilidade dos conteúdos de Mg ficou compreendida no intervalo entre as folhas 6 a 14 para os folíolos e 14 a 20 para a haste foliar (Figura 6A e 6B, respectivamente). Para o S o máximo conteúdo foi de 2,14 g/folíolo na folha 12 e 1,07 g/haste na folha 15 (Figura 4F). A faixa de maior estabilidade dos conteúdos de S ficou compreendida no intervalo entre as folhas 10 a 15 para os folíolos e 12 a 18 para a haste foliar (Figura 6A e 6B, respectivamente).

Para o conteúdo dos micronutrientes avaliados nos folíolos, houve ajuste aos modelos cúbico para Mn e Fe, quadrático para Cu e Zn. Já na haste foliar houve ajuste aos modelos quadrático para Mn, Cu e Zn, linear para Fe (Figura 5). O máximo

conteúdo de Mn foi de 37,02 mg/folíolo na folha 12 e 54,28 mg/haste na folha 16 (Figura 5A). A faixa de maior concentração estável do conteúdo de Mn ficou compreendida no intervalo entre as folhas 9 a 15 nos folíolos e 13 a 19 na haste foliar (Figura 6A e 6B, respectivamente).

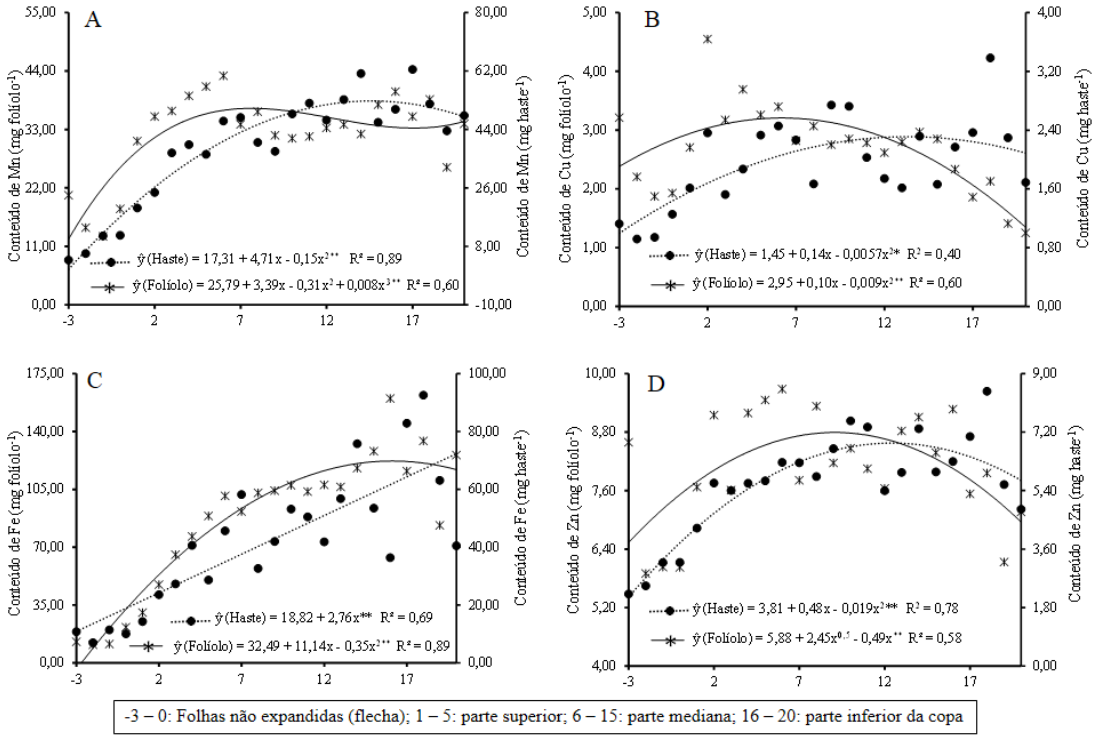

Figura 5 – Conteúdos de micronutrientes nos folíolos e haste foliar em diferentes posições do ápice para a base da copa das plantas de macaúba adultas e produtivas. *, ** = significativo a 5 e 1 % pelo teste t.

O máximo conteúdo de Cu foi de 3,23 mg/folíolo na folha 6 e 2,31 mg/haste na folha 12 (Figura 5B). A faixa de maior estabilidade do conteúdo de Cu ficou compreendida no intervalo entre as folhas 3 a 9 nos folíolos e 9 e 15 na haste foliar (Figura 6A e 6B, respectivamente). O máximo conteúdo de Fe no folíolo foi de 121,13 mg/folíolo na folha 16. Para a haste foliar foi observado aumento continuo do conteúdo de Fe nas folhas do ápice para a base na copa (Figura 5C). A faixa de maior estabilidade do conteúdo de Fe nos folíolos ficou compreendida no intervalo entre as folhas 13 a 29 (Figura 6A e 6B, respectivamente).

O máximo conteúdo de Zn foi de 8,94 g/folíolo na folha 6 e 6,84 g/haste na folha 13. A faixa de maior estabilidade dos conteúdos de Zn ficou compreendida no intervalo entre as folhas 3 a 10 para os folíolos e 10 a 16 para a haste foliar (Figura 5D).

O agrupamento e interpolação das faixas de maior estabilidade dos conteúdos dos nutrientes estudados, permitiu a identificação das folhas onde houve intercessão para a maioria dos nutrientes, tanto nos folíolos quanto na haste foliar (Figura 6). Desta forma o intervalo de amostragem representa o conjunto de folhas na copa, a partir do qual foi possível obter, com uma variabilidade mínima, o máximo conteúdo dos nutrientes avaliados. Este intervalo ficou compreendido entre as folhas 9 a 13 nos folíolos para todos os nutrientes (Figura 6A), e entre as folhas 12 a 16 para os nutrientes na haste, com exceção do Fe e K (Figura 6B).

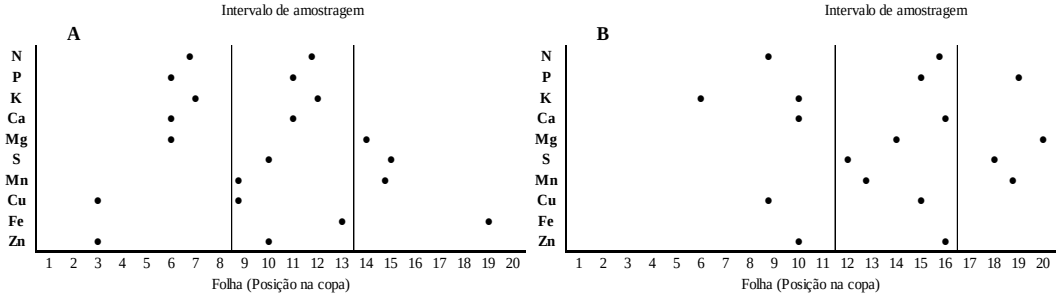

Figura 6 – Intervalo de folhas para amostragem dentro da faixa de maior estabilidade dos conteúdos de macro e micronutrientes nos folíolos (A) e na haste foliar (B) da macaúba.

Dados: os pontos representam os limites inferior e superior dentro da faixa de maior estabilidade do conteúdo de cada nutriente.

A relação N/P nos folíolos e haste foliar no intervalo recomendado para amostragem é apresentada na Tabela 3. De modo geral, as relações observadas nos folíolos foram maiores que as observadas na haste foliar, sendo a média da relação do folíolo foi 1,51 vezes maior que a média da haste. Estas relações indicam a magnitude da variação (aumento ou redução) dos teores de um elemento em função dos teores do outro no referido intervalo.

Tabela 3. Relação entre os teores de nitrogênio e potássio nos folíolos e nas hastes foliares da macaúba.

Folhas	N/P	Folhas	N/P
	Folíolo		Haste
9	15,36	12	9,87
10	14,25	13	10,19
11	15,62	14	9,98
12	13,65	15	10,09
13	17,12	16	10,31
Média	15,20 ± 0,60	Média	10,08 ± 0,08

Dados: Os valores precedidos pelo sinal ± representam o erro padrão da média.

Discussão

As variações obtidas para os teores de N sugerem que, nas folhas em desenvolvimento (componentes da flecha) até a folha 8, há uma translocação do N da haste foliar para os folíolos. Nas folhas da porção mediana ocorre, possivelmente, uma estabilização no processo, de modo que, sobretudo na haste foliar, os teores se mantém constantes. Já nas folhas da porção inferior da copa é observado efeito de remobilização, uma vez que estas folhas estão próximas ao início do processo de senescência.

A haste foliar consiste em um local de intensa transferência de solutos e elementos minerais, das células vasculares do xilema para o floema, sobretudo, os de alta mobilidade como N, P e K. Esta transferência por sua vez depende do estágio desenvolvimento da folha, sendo mais elevada e de grande importância no processo de expansão foliar (Marchner, 1995). O processo de remobilização de nutrientes nas folhas ocorre quando as mesmas iniciam o processo de senescência, de modo que nutrientes moveis no floema como N, P, K e S são mobilizados para novos pontos de crescimento (Himelblaua & Amasino, 2001).

Alterações tais como redução na permeabilidade das membras e na capacidade de compartimentação, liberação de enzinas proteolíticas dos vacúolos para o citoplasma e declínio no conteúdo de clorofila são sintomas associados a senescência (Marschner, 1995; Poovaiah, 1979). Este processo tem importante papel adaptativo, por permitir a reutilização de nutrientes em um ambiente de baixa disponibilidade ou que apresentem elevado custo de aquisição (Leopold, 1961).

A redução acentuada no teor de P na haste em relação ao folíolo das folhas iniciais até a folha 9, sugere que além da translocação do P, também possa ter havido efeito mais expressivo de diluição pelo acumulo de massa durante o desenvolvimento da folha. De acordo com Jarrell & Beverly (1981) o efeito de diluição pelo crescimento ocorre em partes jovens da planta, onde a aquisição de um determinado elemento ocorre de forma mais lenta que o acúmulo de matéria seca no tecido, provocando decréscimo na concentração do referido elemento. Os teores nos folíolos sugerem que além do efeito de diluição, também pode ter havido remobilização nas folhas da parte inferior da copa.

A redução contínua dos teores de K, tanto nos folíolos quanto na haste, pode estar diretamente relacionada à dinâmica de elevada mobilidade do K nas células e tecidos. Por não ser um elemento metabolizado e estabelecer apenas complexos de

ligação de baixa força iônica, o K é um elemento facilmente trocável, podendo ser facilmente transportado entre diferentes células e compartimentos nos tecidos (Marschner, 1995).

O K também exerce importante papel na elongação dos tecidos nos pontos de crescimento, uma vez que promove o incremento do potencial osmótico no vacúolo e estabiliza o pH no citoplasma (Leigh & Wyn Jones, 1984). Desta forma a redução dos teores nas folhas do ápice para a base da copa deve-se, possivelmente, à translocação do elemento das partes mais velhas, visando atender a demanda nos pontos de crescimento. De acordo com Broschat (2009) o K é um elemento altamente móvel entre as folhas na copa de palmeiras, de modo que em caso de deficiência, os sintomas são mais graves nas folhas mais velhas.

Com relação aos teores de Ca nos folíolos e na haste foliar a variação observada neste trabalho difere daquela relatada por Broschat (1997), o qual observou incremento continuo nos teores de Ca nas folhas de coqueiro e palmeira-tamareira do ápice para a base da copa. Devido às características relacionadas à baixa mobilidade do Ca nas células e tecidos vegetais, este não pode ser mobilizado de outras partes e resdistribuído pelo floema (Clarkson & Hanson, 1980), de modo que, é descrito que em condições de deficiência, os sintomas são observados primeiramente nas partes em crescimento de folhas jovens (Mengel, 1987; White & Broadley, 2003). Estes resultados sugerem que a macaúba apresenta uma boa distribuição do Ca nas folhas dentro da copa, possibilitando um melhor aproveitamento do elemento, tendo em vista o baixo teor disponível no solo.

A variação observada para o Mg, S, Mn (haste) e Fe indicam um efeito de acumulação destes elementos nas folhas da parte inferior da copa. A baixa mobilidade desses elementos nos tecidos da planta, sobretudo, S, Mn e Fe, é um fator que afeta a redistribuição dos mesmos nos tecidos (Marschner, 1995). Isso pode ter contribuído para a um maior acúmulo destes elementos nas partes mais velhas das folhas. Em alguns casos, é descrito que a acumulação de nutrientes em partes mais velhas, como observado para o Fe, constitui uma estratégia para dissipar eventuais excessos de alguns elementos, evitando possíveis efeitos tóxicos ou interações indesejáveis entre nutrientes (Robson & Patman, 1983).

O elevado teor de Fe, tanto nos folíolos quanto na haste, é uma característica comum em palmáceas (Wijebandara, 2004). De acordo com Pires et al (2013) o maior requerimento de Fe por palmáceas pode estar ligado à maior capacidade fotossintéticas

destas plantas. O Fe é um metal que apresenta um elevado poder de oxirredução nos complexos de proteínas envolvidas no transporte de elétrons dentro da membrana do tilacóide, sendo que sua disponibilidade exerce forte influência na proporção PSI/SII sintetizado (Eberhard et al., 2008).

A variação observada para os teores de Cu nos folíolos é semelhante a observada para K, e sugere a ocorrência mais expressiva de processos de remobilização do elemento das folhas mais velhas para as mais novas. Já na haste observou-se uma variação considerável dos teores de Cu, indicando que nesta parte da folha não houve um padrão claro de distribuição dos teores do elemento.

Variação semelhante também foi observada para os teores de Zn na haste foliar. Entretanto, para o Zn observou-se que mesmo não tendo seguido uma tendência de distribuição dos teores, houve menor variação dos teores do elemento na haste. A variação observada para os teores de Zn nos folíolos sugere que, assim como observado para o P, há um efeito de diluição dos teores nas folhas da parte superior da copa, com posterior estabilização do processo nas folhas da parte mediana da copa e remobilização nas folhas da parte inferior.

Pires et al (2013) avaliaram os teores de N, P, K, Mg e Fe em folhas dentro da copa de plantas de macaúba no estágio juvenil. Os resultados obtidos foram semelhantes ao apresentado neste trabalho, de modo que, para N, P e K os teores foram maiores nas folhas do ápice da copa, sendo observada uma redução nas folhas mais velhas. Também os resultados apresentados para Mg e Fe mostraram-se semelhantes aos apresentados neste trabalho, havendo um incremento nos teores das folhas mais novas para as mais velhas.

Os resultados obtidos para variação nos teores de nutrientes nos folíolos de macaúba, foi até certo ponto, similar aos resultados apresentados por Broschat (1997) para coco e palmeira-tamareira. Diferenças foram observadas em relação aos teores de Ca, como já discutido anteriormente, Mg e Zn para coco*;* e Ca, Mg, Mn e Zn para palmeira-tamareira. Estes resultados também assemelham-se aos obtidos por Magat (1991) em folhas de diferentes posições na copa do coco gigante nas Filipinas. Entretanto, houve diferenças para os teores de Ca, os quais apresentaram incremento no teor das folhas mais novas para as mais velhas, e para os teores de S os quais mostraram decréscimo do teor nas referidas condições. Resultados apresentados por Rodrigues et al. (2006) para os teores de macronutrientes em folhas de dendê, também sugerem variação semelhante aos obtidos para macaúba, sendo as diferenças

observadas para o Ca, assim como anteriormente descrito para o coco e palmeira-tamareira.

Com relação à faixa de maior estabilidade dos conteúdos foi observada diferença no intervalo de amostragem para os folíolos e haste foliar, sendo que para os folíolos esse intervalo foi obtido em folhas mais novas quando comparado a haste. Também é importante considerar que o intervalo de amostragem obtido para os folíolos permitiu a intercessão da faixa de estabilidade para todos os nutrientes, ao passo que na haste o Fe e o K não se enquadraram neste intervalo. Acrescenta-se ainda que devido a maior facilidade de amostragem e ao menor estresse causado a planta, tem sido recomendado a utilização dos folíolos na amostragem para a realização de análise foliar em palmáceas (Sobral, 1998; Viegas & Botelho, 2000; Pimentel et al., 2011).

Tomando por base este critério verificou-se que o intervalo de amostragem foliar obtido neste trabalho difere da recomendação de amostragem para outras palmáceas. Sobral (1998) recomenda que a amostragem para fins de monitoramento do estado nutricional de plantas adultas de coco, seja feita na folha 14. Já Viegas & Botelho (2000) recomendam que em plantas adultas de dendê a amostragem seja feita na folha 17.

Os resultados obtidos para os conteúdos de macro e micronutrientes mostraram que, apesar das diferenças na variação dos teores desses elementos, a acumulação dos mesmos seguiu um padrão semelhante, tanto nos folíolos quanto na haste das folhas do ápice para a base da copa. A faixa de maior estabilidade dos conteúdos de nutrientes ficou compreendida entre as folhas da porção média da copa. Isto deve-se ao fato de ser uma região da copa de maior estabilidade metabólica, estando as folhas menos sujeitas ao efeito de diluição ou remobilização e redistribuição anteriormente descritos (Jarrell & Beverly, 1981; Himelblaua & Amasino, 2001; Marschner, 1995). Desta forma, essa região da copa mostra-se como a mais apropriada para a realização de amostragem foliar para análise mineral visando o monitoramento do estado nutricional.

Pela análise das relações entre N e P é possível avaliar o equilíbrio nutricional de uma planta, sendo um importante instrumento para ajustar o programa de adubação da cultura, apresentando um grande potencial em culturas perenes, principalmente para nitrogênio, enxofre e micronutrientes (Raij, 1991).

A relação N/P obtida para a macaúba é inferior à descrita por Rodrigues et al. (2006) como sendo a recomendada para uma nutrição fosfatada e nitrogenada balanceada na cultura do dendê. Segundo estes autores uma relação N/P < 16, indica que a planta está relativamente bem nutrida em fósforo, entretanto, a nutrição nitrogenada mostra-se deficiente, havendo a necessidade, neste caso, de um aporte de nitrogênio.

A relação N/P obtida neste trabalho é semelhante a obtida por Sobral (1990) para coqueiros da região nordeste do brasil, o qual obteve valores próximos a 15. Apesar da proximidade com a relação N/P obtida para outras palmáceas, estes resultados se referem a plantas em ambiente natural, devendo posteriormente ser calibrada para condições de cultivo com fornecimento de nutrientes via adubações.

Conclusões

Os teores de nutrientes apresentam ampla variação em relação à distribuição nas folhas do ápice para a base da copa.

O maior cúmulo de nutrientes ocorre nas folhas da porção mediana da copa das plantas de macaúba.

A utilização dos folíolos possibilita uma melhor avaliação dos teores de nutrientes, sendo mais prática do ponto de vista operacional e menos invasiva à planta.

A amostragem foliar para fins de avaliação do estado nutricional em plantas adultas de macaúba, deve ser feita entre a nona e décima terceira folha, localizadas na porção mediana da copa.

Referências bibliográficas

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 12 ed. Washington, 1975. 1094p.

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.

BROSCHAT, K. T. Nutrient distribution, dynamics, and sampling in coconut and Canary date palms. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, New York, v. 122, n. 6, p. 884-890, 1997.

BROSCHAT, T. K. Palm Nutrition and Fertilization. **HortTechnology**, v. 19, n. 4, p. 690-694, 2009.

CLARKSON, DAVID T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual review of plant physiology**, v. 31, n. 1, p. 239-298, 1980.

EBERHARD, S., FINAZZI, G., WOLLMAN, F. A. The dynamics of photosynthesis. **Annual Review of Genetics,** v. 42, p. 463–515, 2008.

GEORGE, A. P.; NISSEN, R. J.; CARSELDINE, M. L. Effect of season (vegetative flushing) and leaf position on the leaf nutrient composition of Annona spp. Hybrid cv. Pi nk's Mammoth in south- eastern Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 29, p. 587-595, 1989.

HIMELBLAUA, E. H.; AMASINO, R. M. Nutrients mobilized from leaves of Arabidopsis thaliana during leaf senescence. **Journal of Plant Physiology**, n. 158, p. 1317–1323, 2001.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, PrenticeHall, 1958. 498p.

JARREL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, 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.

KUMAR, P.; PANDEY, R. M. Sampling for mineral content in leaves of guava cultivar 'Lucknow-49'. **Scientia Horticulturae**, v. 11, p. 163-174, 1979.

LEIGH, R. A.; WYN JONES, R. G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. **New Phytologist**, v. 97, n. 1, p. 1-13, 1984.

LEOPOLD, A. C. Senescence in plant development. **Science**, v. 134, n. 3492, p. 1727–1732, 1961.

MAGAT, S. S. Fertilizer recommendations for coconut based on soil and leaf analyses. **Philippine Journal of Coconut Studies (Philippines)**, v. 16, n. 2, p. 25-29, 1991.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARTINEZ, H. E. P; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MARSCHNER, Horst. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 1995. 889 p.

MARTIN-PREVEL, P.; GAENARD, J.; GAUTIER, P. **L'analyse vegetable dans le controle de l'alimentation des plantes temperées et tropicales.** Paris: Technique e Documentation, 1984. 802 p.

MENGEL, K.; KIRKLY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 9 ed. Internacional Potash Institute, 1987.

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; TEIXEIRA, C. M.; MOTOIKE, S. Y.; NETO, J. C. P. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1ª aproximação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG: EPAMIG, v. 32, n. 265, p. 20-30, 2011.

PIRES, T. P.; SOUZA, E. S.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S.Y. Ecophysiological traits of macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products,** v. 44, p. 200-210, 2013.

POOVAIAH, B. W. Role of calcium in ripening and senescence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 10, n. 1-2, 1979.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.

ROBSON, A. D.; PITMAN, J. B. Interactions between nutrients in higher plants. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition**. Encyclopedia of Plant Physiology, 1. New York: Springer, p. 147-180, 1983.

RODRIGUES, M. 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). Embrapa Amazônia Ocidental. Circular Técnica, 26, Manaus, 2006. 10p.

SOBRAL, L. F. **Levantamento do estado nutricional do coqueiro brasileiro**. Aracaju: Embrapa-CNPCo, 1990. (Embrapa Projeto 038858023 Form 13. Relatório).

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.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan, 1984. 753p.

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.

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

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.

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.

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

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.

ARTIGO II

ACUMULO E EXPORTAÇÃO DE MATÉRIA SECA E NUTRIENTES EM PLANTAS DE MACAÚBA

Resumo – O adequado manejo nutricional de cultivos racionais de macaúba depende, dentre outros fatores, do conhecimento do acumulo de matéria seca e nutrientes nela contidos. Este trabalho teve como objetivo determinar a quantidade de biomassa e de nutrientes acumulados, imobilizados, recicláveis e exportados em plantas adultas e produtivas de macaúba. Cinco plantas adultas e produtivas de macaúba em condições naturais foram mensuradas quanto as características biométricas e produtivas. Posteriormente foram abatidas determinando-se a biomassa da matéria seca e os teores de nutrientes na biomassa seca das diferentes partes da planta. A massa da matéria seca total foi de 377,38 kg/planta, sendo 67, 29 % acumulada no caule. Os teores de nutrientes seguiram a seguinte ordem decrescente: N > K > Ca > S > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu. A extração e acúmulo de nutrientes na planta seguiu a seguinte ordem decrescente: K ≈ Ca > N > S ≈ Mg > P > Fe > Zn ≈ Mn > Cu. A imobilização nas partes senescidas seguiu a seguinte ordem decrescente: Mn > N > P, Mg, S ≈ Ca ≈ K, Cu, Fe, Zn. A exportação pela colheita seguiu a seguinte ordem decrescente: K > N ≈ Ca > S > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu. Potássio, cálcio e nitrogênio foram os nutrientes mais extraídos, acumulados e exportados pela macaúba.

Termos para indexação: estado nutricional, culturas agroenergéticas, cultivo racional, nutrição mineral

ACCUMULATION AND EXPORTATION OF DRY MATTER AND NUTRIENTS IN MACAW PALM TREES

Abstract - The appropriate nutritional management of rational macaw palm depends, among other factors, of knowledge of dry matter accumulation and the nutrients contained therein. This study aimed to determine the amount of biomass and nutrient uptake, fixed, recyclable and exported in adult and productive macaw palm plant. Five adults and productive macaw palm trees in natural conditions were measured as biometric and productive characteristics. Subsequently, they were slaughtered by determining the biomass of dry matter and nutrient content in the dry biomass of different parts of the plant. The mass of the total dry matter was 377.38 kg/plant, being 67.29 % accumulated in the stem. The nutrient content followed the descending order: N > K > Ca > S > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu. The extraction and accumulation of nutrients in the plant followed the descending order: K ≈ Ca > N > S ≈ Mg > P > Fe > Zn ≈ Mn > Cu. Immobilization in abscised shares followed the descending order: Mn > N > P, Mg, S ≈ K ≈ Ca, Cu, Fe, Zn. The export the harvest followed the following descending order: K > N ≈ Ca > S > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu. Potassium, calcium and nitrogen were the most extracted, aggregated and exported nutrients by macaw palm.

Index terms: nutritional status, agroenergy crops, rational farming, mineral nutrition

Introdução

A crescente demanda por energia, sobretudo proveniente de fontes sustentáveis, tem estimulado o estudo do potencial das culturas agroenergéticas. Essas culturas tem o potencial para se tornarem uma das principais fontes de energia primária global durante as próximas décadas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, tanto nos países industrializados, como nos países em desenvolvimento (Berndes et al., 2003). Neste contexto, a macaúba *(Acrocomia aculeata)* por apresentar elevada produção de frutos e óleo tem despertado grande interesse das instituições de pesquisa, segmentos da indústria oleoquímica e órgãos governamentais (Motoike & Kuki, 2009; Pires et al., 2013; Lanes et al., 2013).

A ampla distribuição geográfica da macaúba por toda a América tropical é um forte indicativo de adaptabilidade para cultivo em condições edafoclimáticas adversas. Entretanto, estudos realizados por Motta et al. (2002) mostraram que a ocorrência de maciços naturais de macaúba está comumente associada a solos eutróficos, evitando extremos de deficiência de água e nutrientes. Estes resultados evidenciam que, assim como já estabelecido para outras palmáceas, a manutenção de cultivos racionais de macaúba em solos intemperizados e de baixa fertilidade natural em regiões tropicais, é altamente dependente do suprimento de nutrientes via adubação (Pimentel et al., 2011; Motoike et al., 2013).

A correta utilização e manejo da adubação depende do conhecimento das características químicas do solo, e das necessidades nutricionais da planta. O teor de nutrientes na folha tem sido a característica mais utilizada para avaliar o estado nutricional de diversas culturas (Marschner, 1995). Contudo, um melhor entendimento dos fatores que afetam o estado nutricional, sobretudo em plantas adultas e produtivas, depende do conhecimento de outras informações como, por exemplo, a remoção e acúmulo de nutrientes nas diversas partes da planta, a exportação e ciclagem de nutrientes pelas colheitas e partes senescidas da cultura (Binkley, 1986).

A remoção, acumulo e exportação de nutrientes foi estudada em outras palmáceas como coqueiro [*Cocus nucífera* (Pillai & Davis, 1963; Ouvrier, 1984) e dendê [*Elaeis guineenses* (Viegas, 1993)], de modo que os resultados obtidos por estes estudos serviram como base para elaboração de recomendações de adubação e manejo nutricional para as duas culturas (Sobral, 1998; Viegas e Botelho, 2000).

Os poucos estudos relacionados à nutrição mineral da macaúba reportam-se a caracterização de sintomas de deficiência mineral em mudas e à resposta à adubação na fase inicial de cultivo (Pimentel, 2012) e a determinação dos teores de N, P, K, Mg e Fe em folhas de diferentes posições na copa de plantas jovens de macaúba (Pires et al., 2013). Todavia não foram encontrados estudos sobre a remoção, acúmulo de nutrientes nas partes da planta bem como da exportação nos frutos.

Diante do grande interesse pelo desenvolvimento da cadeia produtiva da macaúba, estudos relacionados aos aspectos nutricionais da cultura são essenciais para garantir o adequado manejo da adubação. Dessa forma, a determinação desses aspectos nutricionais servirá de auxílio para ajustar os programas de adubação da cultura, otimizando a utilização de insumos no desenvolvimento das lavouras comerciais.

Este trabalho teve como objetivo determinar a quantidade de biomassa e de nutrientes acumulados, imobilizados, recicláveis e exportados em plantas adultas e produtivas de macaúba provenientes de população natural.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em uma propriedade rural no município de Acaiáca, MG (20°23'47,0"S e 43°08'14,6"O, a 560 metros de altitude). Cinco plantas adultas e produtivas de macaúba *(Acrocomia aculeata)* foram selecionadas e mensuradas quanto as características biométricas e produtivas (Tabela 1). Posteriormente foram abatidas determinando-se a biomassa da matéria seca e os teores de nutrientes na biomassa seca das diferentes partes da planta.

As plantas foram selecionadas em um maciço de ocorrência natural em área de pastagem de *Brachiaria decumbens* localizado no terço inferior de uma encosta, tendo o solo sido classificado como Argissolo Vermelho distrófico – PVd, cujos atributos físico-químicos são apresentados na Tabela 2.

Em cada planta de macaúba adulta e produtiva foram determinados a massa da matéria seca; os teores e o conteúdo de macro e micronutrientes nas estruturas da planta; a extração de macro e micronutrientes por planta, o que permitiu calcular a extração por área; a exportação de macro e micronutrientes por tonelada de fruto colhida e a quantidade de nutrientes exportados considerando diferentes estimativas de produtividade.

Tabela 1. Características biométricas das plantas de macaúba avaliadas.

Plantas	Altura	DAP	NF	Produção		Partes senescidas		
	(m)			NC	MSF (kg)	NFS	NCS	NES
1	9,72	0,31	24	6	6,12	92	20	20
2	8,84	0,34	23	6	1,63	72	7	7
3	9,4	0,34	18	4	3,89	30	3	3
4	10,51	0,32	20	3	3,02	47	10	10
5	9,39	0,35	24	5	7,00	65	11	11

DAP = diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m; NF = número de folhas verdes; MSF = massa da matéria seca de frutos; NFS = número de folhas senescidas; NCS = número de cachos senescidos; NES = número de espatas senescidas.

Tabela 2. Características físico-químicas do solo onde foram abatidas as plantas de macaúba.

pH	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m
(H_2O)	----mg dm^{-3}----		.....$cmol_c$ dm^{-3}.....							.....%.....	
5,10	0,60	21,00	0,60	0,30	0,30	2,15	0,95	1,25	3,10	31,00	24,00
MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	AG	AF	Silte	Argila	Classe Textural
dag kg^{-1}	mg L^{-1}	.....mg dm^{-3}.....					.....dag kg^{-1}.....				.....
1,97	27,60	0,30	53,10	33,00	2,00	0,10	36	17	9	38	Argilo-Arenosa

Dados:
P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na2Cr2O7 4N + H2SO4 10N; AG = areia grossa; AF = areia fina.

A massa da matéria seca (MS) das folhas (Haste principal + folíolos), inflorescências, cachos [raque + Ráquilas + frutos (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa)] e partes senescidas [folha (haste principal + folíolos), espata, cacho] foi determinada a partir da massa da matéria fresca (MF) descontando o percentual de umidade de acordo com a seguinte equação:

$$MS = MF_{total} \times \left[1 - \left(\frac{MFa - MSa}{MFa}\right)\right] \quad (1)$$

em que

MS = massa da matéria seca das partes da planta anteriormente descritas, em kg;

MF_{total} = massa da matéria fresca total das partes da planta anteriormente descritas, em kg;

MFa = massa da matéria fresca das amostras coletadas nas partes da planta anteriormente descritas, em kg;

MSa = massa da matéria seca das amostras coletadas nas partes da planta anteriormente descritas, em kg;

A MF por sua vez foi medida individualmente no campo por pesagem das estruturas em balança com precisão de 0,005 kg. Após a obtenção da MF foram retiradas amostras compostas e representativas, as quais foram secas em estufa de circulação e renovação de ar à temperatura de aproximadamente 65 ºC, até a estabilização da massa de matéria seca, procedendo-se o cálculo do teor de água. Posteriormente estas amostras foram utilizadas para determinação do teor de nutrientes.

A MS do caule foi calculada pela relação entre o volume e a densidade do caule. O volume do caule foi calculado a partir dos dados de comprimento e diâmetro através da fórmula de *Smalian* (Finger, 1992).

$$V = \left[\frac{AS1 - AS2}{2} \right] \times L \qquad (2)$$

em que

V = volume do caule, em m³;

AS1 e AS2 = áreas seccionais medidas nas extremidades das secções, em m²;

L = comprimento da secção, e, m.

O comprimento foi medido com trena graduada da base do coleto até o ponto de inserção da última folha expandida. O diâmetro foi medido com uma suta nas secções de 0,1; 0,5; 1,3; 2, 3, 4 e 5 m a partir da base do coleto.

Para a determinação da densidade do caule foram retirados três secções do caule (discos), cortadas transversalmente na porção basal, mediana e apical do caule. Essas secções foram pesadas para obtenção da massa da matéria fresca, e posteriormente saturados em água. Em seguidas foram colocados em uma caixa d'água previamente calibrada e com volume de água conhecido. O volume da secções correspondeu ao volume de água deslocado, tendo sido as secções secas em estufa de circulação e renovação de ar à temperatura de 105 ºC, até a estabilização da massa de

matéria seca. A densidade do caule foi obtida pela relação entre a massa da matéria fresca sobre o volume em cada secção do caule, sendo corrigido pelo teor de água na madeira, conforme a equação:

$$DC = \frac{MSC}{[\ Vl \times (1 - U_{bu}/100)]} \quad (3)$$

em que

DC = densidade do caule, em kg m^{-3};

MSC = massa da matéria seca do caule, em kg;

Vl = volume de água correspondente ao volume do disco, em m^3;

U_{bu} = Porcentagem de umidade da secção do caule em base úmida (%).

Considerando que existe diferença de densidade entre a porção externa e interna do caule da macaúba, foi feita a divisão do mesmo em duas porções, externa e interna. Assim procedeu-se amostragem em separado da porção externa, tendo sido determinado o volume e a densidade dessa parte, de modo que, os dados foram computados no cálculo da MS e do conteúdo de nutrientes nas duas porções do caule.

A MS de raízes foi estimada pelo método da trincheira (Vogt et al., 1998). As trincheiras foram abertas próximo ao tronco das árvores, tendo sido coletada a massa de raízes e tomadas as medidas para a determinação o volume da trincheira. Após a coleta as raízes foram lavadas para retirar o solo aderido às mesmas e pesadas para determinação da MF. Posteriormente foi retirada uma subamostra, a qual foi pesada e seca e estufa, conforme descrito anteriormente, tendo sido obtida a MS. A MS total de raízes por planta foi estimada por extrapolação, multiplicando-se a MS de raízes contida no volume de solo da trincheira pelo volume de maior concentração de raízes no perfil do solo, conforme a equação:

$$MSR = MS_{VT} \times VS_E \quad (4)$$

em que

MSR = massa da matéria seca total de raízes, em kg/planta;

MS_{VT} = massa da matéria seca de raízes por volume da trincheira, em kg m^{-3};

VS_E = volume de maior concentração de raízes no perfil do solo, em m^3.

O VS_E foi estimado com base em observação da distribuição do sistema radicular de plantas (profundidade e diâmetro de projeção lateral) em um perfil de barranco próximo ao local de coleta.

Para a determinação dos teores de macro e micronutrientes as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, passadas em peneira com malha de 2 mm e submetidas à digestão nitroperclórica (Johnson & Ulrich, 1959). O P foi determinado pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974). O K foi determinado por fotometria de chama. Ca, Mg, Fe, Mn e Zn foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC,1975), e o S por turbidimetria do sulfato (Jackson,1958). Para determinação dos teores de N, o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica (Jackson, 1958), sendo o nutriente quantificado por titulometria de acordo com o método descrito por Bremner (1965).

O conteúdo de nutrientes em cada parte da planta foi calculado multiplicando-se o teor de cada nutriente pela MS da respectiva estrutura, e o conteúdo total de nutrientes na planta foi calculado pelo somatório dos conteúdos em cada parte da planta, conforme as equações:

$$CN_{PA} = T_{PA} \times MS_{PA} \quad (5)$$

$$CTN = \sum CN_{PA} \quad (6)$$

em que

CN_{PA} = conteúdo de nutrientes na parte da planta, em g;

T_{PA} = teor de nutriente na parte da planta, em g kg^{-1} (macronutrientes) ou mg kg^{-1} (micronutrientes);

MS_{PA} = massa da matéria seca da parte da planta, em kg;

CTN = conteúdo total de nutriente na planta, em g;

$\sum CN_{PA}$ = somatório do conteúdo de nutrientes na folha, no cacho, nos frutos, nas partes senescidas, no cabbage, no caule e na raiz.

Devido ao efeito de contaminação das raízes por Fe, o conteúdo destas não foi considerado no cálculo do conteúdo total na planta, bem como nos demais cálculos a seguir.

A partição de nutrientes nas partes da planta foi calculada pela relação entre o conteúdo do nutriente em cada parte e o conteúdo total desse na planta, conforme a equação:

$$PN = \left(\frac{CN_{PA}}{CTN} \right) \times 100 \quad (8)$$

em que

PN = partição de nutrientes nas partes da planta, em %;

A quantidade de nutrientes extraída em área equivalente a 1 ha foi calculada com base no conteúdo total dos nutrientes, extrapolando-se para um stand de 400 plantas ha^{-1}, tendo sido considerado um espaçamento de 5 x 5 m, conforme a equação:

$$EN = \frac{CTN \times 400}{1000} \quad (7)$$

em que

EN = extração de nutrientes por área, em kg ha^{-1} (micronutrientes) e t ha^{-1} (macronutrientes);

CTN = conteúdo total do nutriente na planta, em g.

Para o cálculo da quantidade de nutrientes exportada por tonelada de frutos foi considerado o conteúdo de nutrientes no cacho e nas partes do fruto e a produção das plantas avaliadas. A partir destes dados calculou-se a exportação de nutrientes por extrapolação considerando uma produção de 1 tonelada de frutos, conforme a equação:

$$NE = \left(\frac{MS_{PC}}{MS_{TC}} \right) \times T_{PC} \quad (8)$$

em que

NE = nutrientes exportados por componente da colheita (cacho + frutos) por tonelada de matéria seca colhida, em g (micronutrientes) ou kg (macronutrientes);

MS_{PC} = massa da matéria seca da parte colhida, em kg;

MS_{TC} = massa da matéria seca total da colheita, em kg;

T_{PC} = teor do nutriente na parte colhida, em g ou mg kg^{-1} (idem NE);

Em seguida calculou-se a exportação de nutrientes a partir de diferentes estimativas de produtividade por hectare cultivado, conforme a equação:

$$QNE = \sum NE \times EP$$

em que

QNE = quantidade de nutriente exportado em diferentes estimativas de produtividade, em g (micronutrientes) ou kg ha^{-1} (macronutrientes);

$\sum$ NE = somatório da quantidade do nutriente exportado nos componentes da colheita;

EP = estimativa de produtividade por área, em t ha^{-1}.

Os dados referentes aos teores e conteúdo de nutrientes nas diferentes partes da planta foram organizados em gráficos e tabelas, tendo sido calculada a média e o erro padrão da média.

Resultados

A massa da matéria seca total acumulada nas plantas foi estimada em 377,38 kg/planta. Os dados do estudo de acúmulo e partição da matéria seca em plantas de macaúba mostraram que as maiores quantidade foram acumuladas no caule (67,29 %), nas partes senescidas que permanecem aderidas às plantas (14,97 %), nas raízes (9,68 %), nas folhas (5,56 %). As demais estruturas somaram 2,5 % da matéria seca acumulada nas plantas (Figura 1).

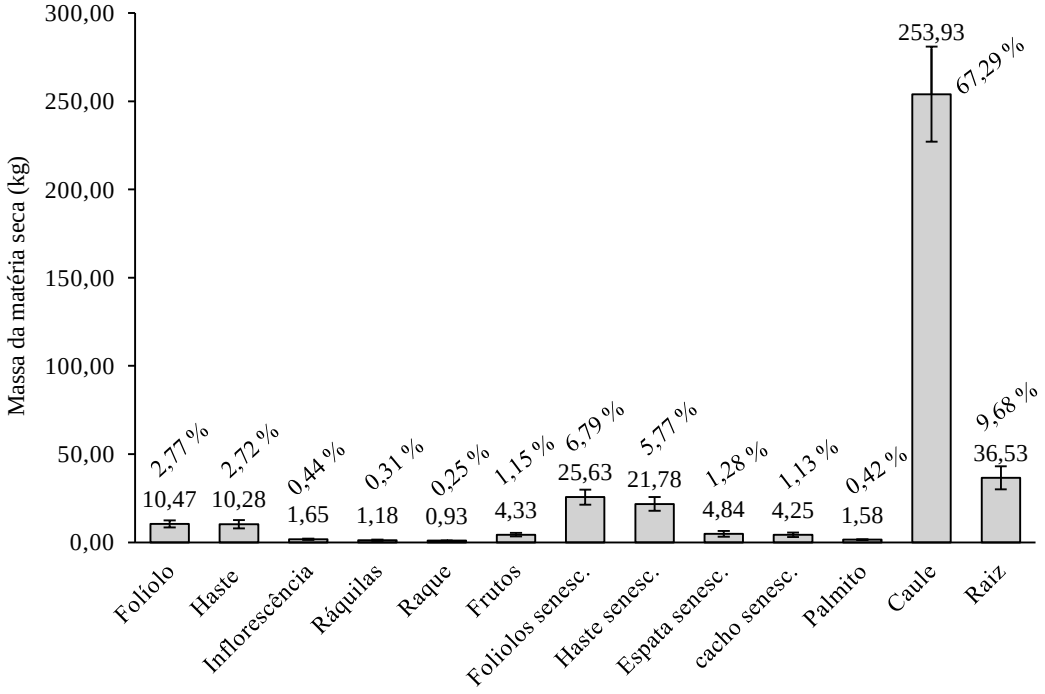

Figura 1 – Acúmulo e partição da massa da matéria seca nos diferentes componentes de plantas de macaúba adultas e produtivas. Dados: as barras no gráfico representam o erro padrão da média.

Em relação aos macronutrientes nas diferentes partes da planta observou-se que, de modo geral, a ordem decrescente dos teores foi: N > K > Ca > S > Mg > P (Tabela 2). Os maiores teores de N e P estavam presentes em ordem decrescente: na porção interna do cabbage, na amêndoa do fruto, na inflorescência e nos folíolos. Para o K os maiores teores foram observados: no cacho senescido, no cabbage, no raque e

nas ráquilas. Para os teores de Ca, Mg e S não foram observadas expressivas variações nas diferentes partes da planta.

Tabela 2. Teores de macronutrientes nos diferentes componentes de plantas de macaúba adultas e produtivas.

Parte da planta		N	P	K	Ca	Mg	S
		----------g kg^{-1}----------					
Folha	Folíolo	14,88 ± 0,74	1,08 ± 0,02	6,62 ± 0,41	5,73 ± 0,28	1,83 ± 0,22	3,11 ± 0,40
	Haste da folha	3,77 ± 0,24	0,50 ± 0,05	7,33 ± 0,43	5,73 ± 0,30	2,02 ± 0,24	1,47 ± 0,23
	Inflorescência	15,74 ± 0,74	2,02 ± 0,18	8,92 ± 0,66	6,56 ± 0,50	1,88 ± 0,35	1,85 ± 0,14
Cacho	Ráquilas	6,08 ± 0,87	0,82 ± 0,02	13,26 ± 2,31	6,72 ± 0,39	2,51 ± 0,25	1,59 ± 0,33
	Raque	4,52 ± 0,37	0,57 ± 0,05	14,55 ± 3,50	5,77 ± 0,76	2,31 ± 0,26	1,89 ± 0,44
Frutos	Epicarpo	7,72 ± 0,76	0,78 ± 0,11	14,37 ± 0,86	7,50 ± 0,34	1,54 ± 0,38	2,61 ± 0,25
	Mesocarpo	9,08 ± 0,97	1,00 ± 0,16	11,83 ± 1,44	7,59 ± 0,25	1,27 ± 0,05	2,44 ± 0,36
	Endocarpo	3,60 ± 0,33	0,18 ± 0,03	2,95 ± 0,34	6,04 ± 1,41	0,69 ± 0,07	2,04 ± 0,17
	Amêndoa	22,06 ± 1,22	4,69 ± 0,22	3,73 ± 0,15	7,53 ± 0,44	1,15 ± 0,04	1,72 ± 0,11
Partes senescidas	Folíolos	11,59 ± 1,06	0,61 ± 0,14	4,58 ± 0,56	6,58 ± 0,43	1,93 ± 0,24	3,70 ± 0,61
	Haste da folha	2,70 ± 0,59	0,23 ± 0,03	2,55 ± 0,73	6,10 ± 0,36	2,28 ± 0,36	1,84 ± 0,25
	Espata	5,32 ± 0,36	0,43 ± 0,17	4,17 ± 0,96	5,80 ± 0,44	1,89 ± 0,21	0,77 ± 0,10
	Cacho	5,25 ± 0,19	0,44 ± 0,09	17,51 ± 3,58	6,01 ± 0,48	2,59 ± 0,19	1,69 ± 0,33
Cabbage	Porção externa	5,59 ± 1,05	1,02 ± 0,26	11,50 ± 2,93	6,65 ± 0,61	3,11 ± 0,53	2,17 ± 0,64
	Porção interna	24,16 ± 1,77	3,75 ± 0,71	11,69 ± 1,28	5,97 ± 0,46	2,86 ± 0,29	2,01 ± 0,57
Caule	Porção externa	2,84 ± 0,27	0,27 ± 0,03	6,47 ± 0,61	5,63 ± 0,26	1,80 ± 0,14	1,56 ± 0,38
	Porção interna	2,57 ± 0,56	0,39 ± 0,07	7,78 ± 1,04	5,96 ± 0,28	1,76 ± 0,15	2,15 ± 0,33
	Base	2,13 ± 0,26	0,21 ± 0,03	5,39 ± 0,52	5,54 ± 0,36	1,66 ± 0,15	1,45 ± 0,48
	Raiz	4,20 ± 0,60	0,19 ± 0,02	4,92 ± 0,87	7,66 ± 1,21	1,76 ± 0,11	2,44 ± 0,32

Dados: Os valores precedidos pelo sinal ± representam o erro padrão da média.

Em relação aos micronutrientes observou-se que, de modo geral, a ordem decrescente dos teores foi: Fe > Mn > Zn > Cu. Os maiores teores de Fe em ordem decrescente estavam presente: nas raízes, nos folíolos, nos folíolos e espata senescidos, no endocarpo e nas ráquilas. Os maiores teores de Mn foram encontrados: nos folíolos e haste da folha senescida, na amêndoa, na inflorescência, no cacho (raque + ráquilas) (Tabela 3). Os maiores teores de Zn foram observados: nas raízes, na amêndoa, no endocarpo, nas ráquilas e na inflorescência. Já os maiores teores de Cu foram observados: nas raízes, no cabbage, nas partes do frutos (com exceção ao endocarpo), no raque e na inflorescência.

Os conteúdos de macronutrientes mostraram que o acúmulo total na planta seguiu a seguinte ordem decrescente: K ≈ Ca > N > S ≈ Mg > P. A parte interna do caule foi o local onde ocorreu o maior acúmulo destes elementos na planta. Também foi observado grande acúmulo de macronutrientes nas folhas senescidas e nos folíolos das folhas em atividade na planta (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de micronutrientes nos diferentes componentes de plantas de macaúba adultas e produtivas.

Parte da planta		Fe	Mn	Zn	Cu
		----------mg kg^{-1}----------			
Folha	Folíolo	154, 31 ± 9,50	65,54 ± 8,28	17,60 ± 1,16	6,23 ± 0,78
	Haste da folha	84,14 ± 12,47	77,76 ± 9,39	12,06 ± 1,32	4,46 ± 0,90
	Inflorescência	31,58 ± 4,32	39,53 ± 3,40	31,91 ± 2,73	11,60 ± 2,55
Cacho	Ráquilas	109,51 ± 15,47	49,13 ± 6,50	37,72 ± 5,71	6,11 ± 1,37
	Raque	58,21 ± 7,52	44,76 ± 5,77	17,05 ± 3,05	9,63 ± 2,06
Frutos	Epicarpo	65,50 ± 12,41	2,83 ± 0,79	14,60 ± 0,73	11,36 ± 1,38
	Mesocarpo	90,55 ± 13,25	2,45 ± 1,00	20,67 ± 2,56	12,32 ± 1,66
	Endocarpo	126,50 ± 36,54	10,22 ± 1,60	66,90 ± 12,45	5,03 ± 1,79
	Amêndoa	37,45 ± 3,01	44,64 ± 3,60	42,22 ± 3,71	12,58 ± 0,42
Partes	Folíolos	307,44 ± 20,48	95,95 ± 11,35	20,19 ± 0,91	4,80 ± 0,64
	Haste da folha	121,49 ± 9,77	98,73 ± 12,95	17,32 ± 2,47	4,40 ± 1,51
	Espata	138,30 ± 14,84	39,60 ± 4,91	25,50 ± 2,97	5,97 ± 0,97
	Cacho	78,09 ± 10,88	41,78 ± 5,94	24,71 ± 4,22	8,25 ± 0,85
Cabbage	Porção externa	35,43 ± 5,54	25,83 ± 4,12	25,97 ± 9,35	12,71 ± 2,20
	Porção interna	33,53 ± 6,58	27,37 ± 5,22	26,90 ± 7,27	10,27 ± 2,78
Caule	Porção externa	63,79 ± 7,25	14,43 ± 1,62	24,02 ± 4,08	4,27 ± 0,68
	Porção interna	31,15 ± 5,04	8,52 ± 0,63	33,35 ± 8,88	5,22 ± 1,31
	Base	61,80 ± 7,57	13,52 ± 1,38	12,14 ± 2,50	2,83 ± 0,26
	Raiz	1899,8 ± 133,96	26,84 ± 2,10	85,18 ± 19,15	23,76 ± 6,99

Dados: Os valores precedidos pelo sinal ± representam o erro padrão da média.

Ao comparar o perfil de acumulação dos macronutrientes por cada parte da planta observou-se que o K foi o elemento mais acumulado no raque, epicarpo, mesocarpo, cacho senescido, parte externa do cabbage, parte externa, interna e basal do caule. Os dados de partição do K na planta mostraram que as maiores frações em ordem decrecente estavam presentes: no caule (75,24 %), na raiz (7,46 %), nos folíolos senescidos (4,9%) e folíolos das folhas ativas (2,8%) (Tabela 6).

O Ca, juntamente com K, foi o elemento com maior acúmulo no endocarpo, haste da folha senescida, parte externa, interna e basal do caule e na raiz. As maiores frações do Ca na planta estavam presentes em ordem decrescente: no caule (67,53 %), na folha senescida (13,51 %), na raiz (11,44 %) e nos folíolos (2,52 %). O nitrogênio apresentou maior acumulo em relação aos demais elementos, nos folíolos e haste das folhas, inflorescência, amêndoa, folíolo senescido, e parte interna do cabbage. As maiores frações do N foram observadas: na parte interna do caule (27,29 %), nos folíolos das folhas senescidas (20,94 %), na raiz (10,64 %) e nos folíolos das folhas ativas na planta (10,44 %).

Tabela 4. Conteúdo de macronutrientes nos diferentes componentes de plantas de macaúba adultas e produtivas.

Parte da planta		N	P	K	Ca	Mg	S
		----------g/planta----------					
Folha	Folíolos	160,75 ± 38,83	11,06 ± 2,24	68,03 ± 14,49	60,85 ± 14,94	17,79 ± 2,56	32,91 ± 6,89
	Haste	38,02 ± 10,27	0,22 ± 0,04	3,43 ± 0,77	2,81 ± 0,63	0,91 ± 0,11	0,71 ± 0,12
	Inflorescência	28,88 ± 6,65	3,58 ± 0,56	15,74 ± 2,30	11,51 ± 1,54	3,66 ± 1,36	3,30 ± 0,63
Cacho	Ráquilas	12,48 ± 3,43	1,92 ± 0,53	11,89 ± 2,32	8,18 ± 1,47	3,45 ± 1,07	2,36 ± 0,55
	Raque	4,07 ± 0,64	0,53 ± 0,12	12,21 ± 2,06	5,02 ± 0,57	2,05 ± 0,32	1,57 ± 0,20
Frutos	Epicarpo	8,85 ± 2,38	0,78 ± 0,12	16,21 ± 3,89	8,26 ± 1,61	1,53 ± 0,32	2,85 ± 0,68
	Mesocarpo	10,22 ± 2,40	1,05 ± 0,17	13,11 ± 2,84	8,98 ± 2,08	1,47 ± 0,34	2,71 ± 0,65
	Endocarpo	6,04 ± 1,69	0,26 ± 0,04	4,64 ± 1,06	10,03 ± 3,47	1,13 ± 0,29	3,17 ± 0,60
	Amêndoa	7,78 ± 1,82	1,67 ± 0,40	1,31 ± 0,29	2,76 ± 0,73	0,42 ± 0,10	0,62 ± 0,16
Partes senescidas	Folíolos	310,52 ± 66,02	15,86 ± 5,37	117,01 ± 23,25	166,22 ± 26,50	49,60 ± 10,06	93,49 ± 17,89
	H. folha	66,12 ± 20,88	5,16 ± 1,32	54,79 ± 18,13	136,43 ± 29,79	53,26 ± 15,13	42,03 ± 11,44
	Espata	26,33 ± 8,52	3,10 ± 2,12	22,26 ±8,66	29,23 ± 9,96	8,55 ± 2,99	3,55 ± 1,03
	Cacho	22,48 ± 7,49	1,74 ± 0,43	76,71 ± 22,79	25,55 ± 7,35	11,03 ± 3,34	6,76 ± 1,63
Cabbage	P. externa	0,46 ± 0,11	0,08 ± 0,03	0,93 ± 0,26	0,53 ± 0,08	0,24 ± 0,03	0,16 ± 0,04
	P. interna	36,22 ± 4,28	5,31 ± 0,97	17,23 ± 1,78	9,04 ± 1,26	4,21 ± 0,39	2,91 ± 0,83
Caule	P. externa	93,95 ± 27,20	7,34 ± 2,27	192,96 ± 50,99	177,09 ± 38,65	56,83 ± 16,90	36,14 ± 6,96
	P. interna	432,93 ± 114,40	67,99 ± 16,21	1270,65 ± 215,47	981,51 ± 137,98	286,99 ± 39,93	362,09 ± 98,76
	Base	119,39 ± 25,32	11,34 ± 1,71	312,76 ± 71,18	306,50 ± 56,89	92,29 ± 19,30	92,61 ± 46,29
	Raiz	147,63 ± 23,38	6,69 ± 1,09	164,78 ± 22,08	294,86 86,17	61,66 ± 7,92	92,11 ± 25,17
	Total	1533,11 ± 365,72	145,73 ± 35,74	2376,66 ± 464,62	2245,39 ± 421,66	657,07 ± 122,46	782,05 ± 220,51

Dados: Os valores precedidos pelo sinal ± representam o erro padrão da média.

O Mg e S apresentaram acúmulo inferior ao do N, K e Ca, de modo que, o maior acúmulo destes nutrientes foi observado nas raízes, parte interna do caule, nas partes senescidas das folhas e nos folíolos. As maiores frações desses elementos foram

observadas: no caule (59,86 e 55,14 %), nas folhas senescidas (14,53 e 18,91 %), na raiz (10,05 e 11,92 %) e nos folíolos (2,85 e 4,63 %) para Ca e Mg, respectivamente. O P foi o macronutriente que apresentou o menor acúmulo nas partes da planta, sendo as maiores frações do elemento observadas: no caule (60,47 %), folhas senescidas (13,03 %), raiz (5,09 %) e nos folíolos (8,02 %).

Os conteúdos de micronutrientes mostraram que o acúmulo total na planta seguiu a seguinte ordem decrescente: Fe > Zn ≈ Mn > Cu. Os maiores acúmulos desses elementos ocorreram nas raízes, caule, folhas senescidas e folíolos (Tabela 5).

Tabela 5. Conteúdo de micronutrientes nos diferentes componentes de plantas de macaúba adultas e produtivas.

Parte da planta		Mn	Cu	Fe[1]	Zn
		----------mg/planta----------			
Folha	Folíolos	649,16 ± 114,67	56,70 ± 7,77	1675,63 ± 359,20	164,32 ± 19,73
	Haste da folha	36,69 4,86	1,82 ± 0,33	39,36 ± 6,18	5,31 ± 0,62
	Inflorescência	69,16 ± 8,71	22,25 ± 7,31	58,53 ± 15,06	59,81 ± 17,38
Cacho	Ráquilas	47,66 ± 4,78	16,03 ± 4,73	105,44 ± 52,80	53,75 ± 15,61
	Raque	38,49 ± 3,35	9,11 ± 2,95	51,08 ± 6,10	15,95 ± 4,50
Frutos	Epicarpo	3,50 ± 1,45	13,35 ± 4,11	73,71 ± 19,14	16,25 ± 3,50
	Mesocarpo	3,10 ± 1,25	14,55 ± 3,49	104,63 ± 22,89	23,03 ± 5,18
	Endocarpo	18,43 ± 5,37	10,17 ± 4,68	161,64 ± 16,52	98,67 ± 20,24
	Amêndoa	15,98 ± 3,61	4,59 ± 1,09	13,43 ± 3,59	14,93 ± 3,89
Partes senescidas	Folíolos	2479,91 ± 565,73	119,39 ± 20,99	7702,82 ± 1239,18	512,77 ± 86,79
	Haste da folha	2170,62 ± 523,47	84,85 ± 27,85	2622,36 ± 491,49	356,92 ± 69,52
	Espata	183,98 ± 63,22	27,65 ± 9,78	645,79 ± 198,33	126,19 ± 52,47
	Cacho	172,17 ± 52,94	34,99 ± 12,29	310,58 ± 108,87	118,14 ± 49,26
Cabbage	Porção externa	2,06 ± 0,42	0,96 ± 0,10	2,96 ± 0,75	1,97 ± 0,65
	Porção interna	41,82 ± 9,51	16,07 ± 5,31	52,63 ± 15,46	42,75 ± 14,86
Caule	Porção externa	556,92 ± 190,71	124,96 ± 39,95	2303,19 ± 653,66	583,09 ± 181,83
	Porção interna	1402,25 ± 204,85	865,61 ± 128,81	5421,48 ± 1441,62	5529,86 ± 1303,21
	Base	739,53 ± 124,62	159,87 ± 30,98	3393,03 ± 676,98	675,78 ± 171,91
	Raiz	935,28 ± 935,28	804,73 ± 176,83	69367,21 ± 14185,38	2861,79 ± 472,29
	Total	9566,70 ± 1999, 33	2387,67 ± 489,38	24738,26 ± 5327,83	11261,29 ± 2493,43

Dados: Os valores precedidos pelo sinal ± representam o erro padrão da média.
1 – no cálculo do conteúdo total de ferro foi desconsiderado o valor da raiz devido ao efeito da contaminação.

O Fe foi o micronutriente mais acumulado em todas as partes da planta, de modo que, os dados de partição mostraram que 47,62 % do Fe na planta estava acumulado nas partes senescidas, 42,99 % no caule 6 % nas folhas sendo os folíolos o local de maior acúmulo de Fe na folha (Tabela 6). O Zn foi acumulado nas seguintes

proporções: no caule (58,54 %), nas raízes (27,25 %), nas folhas senescidas (8,14 %) e nos folíolos (1,65 %). Os dados de partição do Mn mostraram uma elevada concentração deste elemento nas folhas senescidas, representado cerca de 47 % do total acumulado na planta. O Cu foi o elemento acumulado em menor quantidade na planta, sendo que as maiores frações foram observadas no caule (50,08 %), nas raízes (33,08 %), nas folhas senescidas (8,18 %) e nos folíolos (2,58 %).

Tabela 6. Partição dos nutrientes nos diferentes componentes de plantas de macaúba adultas e produtivas.

Parte da planta		N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Fe[1]	Zn
		----------%----------									
Folha	Folíolos	10,44	8,02	2,80	2,52	2,85	4,63	7,06	2,58	6,78	1,65
	Haste da folha	2,38	0,16	0,14	0,12	0,15	0,10	0,42	0,08	0,17	0,05
	Total	12,82	8,19	2,94	2,64	3,00	4,74	7,48	2,66	6,95	1,70
	Inflorescência	1,90	2,74	0,70	0,55	0,43	0,48	0,80	0,79	0,22	0,48
Cacho	Ráquilas	0,78	1,26	0,50	0,37	0,45	0,32	0,57	0,60	0,27	0,44
	Raque	0,29	0,37	0,53	0,24	0,32	0,25	0,46	0,32	0,23	0,13
	Total	1,07	1,64	1,03	0,61	0,77	0,57	1,03	0,92	0,50	0,57
Frutos	Epicarpo	0,55	0,60	0,64	0,36	0,23	0,39	0,03	0,49	0,28	0,15
	Mesocarpo	0,67	0,80	0,54	0,38	0,21	0,37	0,02	0,58	0,42	0,20
	Endocarpo	0,37	0,20	0,19	0,36	0,16	0,46	0,17	0,29	0,75	0,89
	Amêndoa	0,51	1,16	0,05	0,11	0,06	0,08	0,16	0,18	0,05	0,13
	Total	2,11	2,76	1,42	1,21	0,65	1,29	0,39	1,54	1,50	1,37
Partes senescidas	Foliolos	20,94	9,54	4,90	7,66	7,40	13,46	25,30	5,18	33,30	4,86
	Haste da folha	3,88	3,49	1,92	5,85	7,13	5,45	21,77	3,00	10,98	3,28
	Espata	1,53	0,89	0,71	1,06	1,04	0,45	1,60	0,94	2,31	0,84
	Cacho	1,28	1,19	2,82	1,00	1,44	0,91	1,58	1,20	1,04	0,79
	Total	27,63	15,12	10,35	15,56	17,01	20,27	50,23	10,32	47,62	9,76
Cabbage	Ápice externo	0,03	0,05	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05	0,011	0,02
	Ápice interno	2,74	3,95	0,81	0,43	0,71	0,37	0,43	0,57	0,19	0,32
	Total	2,77	4,00	0,84	0,45	0,75	0,39	0,45	0,61	0,20	0,33
Caule	Porção externa	5,72	4,64	7,42	7,59	7,47	5,20	4,84	4,48	8,50	4,58
	Porção interna	27,29	47,08	55,19	46,25	46,21	46,89	15,82	38,81	20,50	48,21
	Base	8,06	8,75	12,63	13,69	13,65	8,25	8,13	6,79	13,99	5,75
	Total	41,06	60,47	75,25	67,53	67,34	60,34	28,79	50,08	42,99	58,53
	Raiz	10,64	5,09	7,46	11,44	10,05	11,92	10,83	33,08	------	27,25

Dados: 1 – no cálculo do conteúdo total de ferro foi desconsiderado o valor da raiz devido ao efeito da contaminação.

Com base nos dados sobre extração de nutrientes por área verifica-se que, de modo geral, foi observada a seguinte ordem decrescente: K ≈ Ca > N > S ≈ Mg > P >

Fe > Zn ≈ Mn > Cu (Figura 2). O K e o Ca foram os nutrientes mais extraídos pelas plantas de macaúba, sendo a quantidade estimada para cada nutriente foi próxima a 1 t ha^{-1}. O N foi o terceiro macronutirente mais extraído pela cultura, sendo sua extração inferior a do K e Ca. O Mg e S apresentaram extração semelhante, de modo que, as quantidades extraídas destes nutrientes foram próximas a 0,3 t ha^{-1}. O P por sua vez foi o macronutrientes menos extraído pelas plantas, sendo que a quantidade estimada de P extraído foi de 60 kg ha^{-1}.

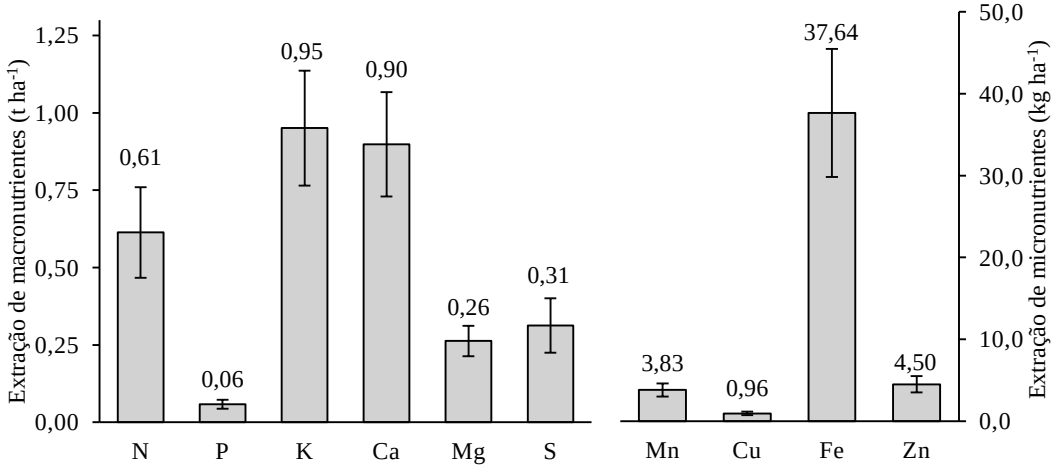

Figura 2 – Quantidade estimada de macro e micronutrientes extraída por plantas de macaúba adultas e produtivas em área de 1 ha. Dados: as barras no gráfico representam o erro padrão da média.

Pelos dados de imobilização de nutrientes nas partes senescidas da cultura virificou-se que, de modo geral, a seguinte ordem decrescente: Mn > N > P, Mg, S ≈ Ca ≈ K, Cu, Fe, Zn (Figura 3). O Mn foi o nutriente com maior percentual de imobilização, de modo que a fração do elemento imobilizado representou mais da metade do acúmulo total na planta. O N apresentou o segundo maior percentual imobilizado. O K, Cu, Fe e Zn apresentaram percentuais próximos, em média 11,11 %, com tendência a uma menor imobilização quando comparados aos demais nutrientes. Já o P, Ca, Mg e S também apresentaram percentuais próximos entre si, com média de 17,74 % de imobilização em relação ao total acumulado na planta.

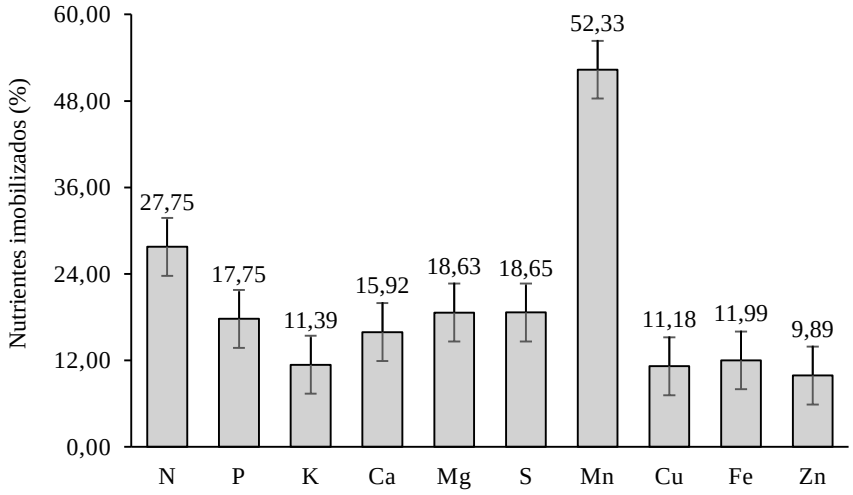

Figura 3 – Partição de macro e micronutrientes em partes senescidas de plantas de macaúba adultas e produtivas. Dados: as barras no gráfico representam o erro padrão da média.

Os dados de exportação de nutrientes por tonelada de fruto colhido mostraram que, de maneira geral, a exportação de nutrientes na colheita segue a seguinte ordem decrescente: K > N ≈ Ca > S > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu (Tabela 7).

Tabela 7. Quantidade de nutrientes exportados por tonelada de frutos produzidos.

Nutrientes		------Parte do cacho------		----------Parte dos frutos----------				Total
		Ráquilas	Raque	Epicarpo	Mesocarpo	Endocarpo	Amêndoa	
(kg)	N	1,25 ± 0,18	0,62 ± 0,05	1,33 ± 0,13	1,63 ± 0,17	0,91 ± 0,08	1,20 ± 0,07	6,93 ± 0,68
	P	0,17 ± 0,004	0,08 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,18 ± 0,03	0,05 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,86 ± 0,08
	K	2,72 ± 0,48	1,99 ± 0,48	2,49 ± 0,15	2,12 ± 0,26	0,74 ± 0,09	0,20 ± 0,01	10,26 ± 1,45
	Ca	1,38 ± 0,08	0,79 ± 0,10	1,30 ± 0,06	1,36 ± 0,05	1,52 ± 0,35	0,41 ± 0,02	6,75 ± 0,67
	Mg	0,52 ± 0,05	0,32 ± 0,04	0,27 ± 0,07	0,23 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,06 ± 0,002	1,56 ± 0,18
	S	0,33 ± 0,07	0,26 ± 0,06	0,45 ± 0,04	0,44 ± 0,06	0,51 ± 0,04	0,09 ± 0,01	2,08 ± 0,28
(g)	Mn	10,09 ± 1,34	6,12 ± 0,79	0,49 ± 0,14	0,44 ± 0,18	2,57 ± 0,40	2,43 ± 0,20	22,14 ± 3,04
	Cu	1,26 ± 0,28	1,32 ± 0,28	1,97 ± 0,24	2,20 ± 0,30	1,27 ± 0,45	0,69 ± 0,02	8,69 ± 1,57
	Fe	22,49 ± 3,18	7,96 ± 1,03	11,33 ± 2,15	16,21 ± 2,37	31,81 ± 9,19	2,04 ± 0,16	91,84 ± 18,07
	Zn	7,75 ± 1,17	2,33 ± 0,42	2,53 ± 0,13	3,70 ± 0,46	16,82 ± 3,13	2,30 ± 0,20	35,43 ± 5,51
Total (kg/t)		6,40 ± 0,87	4,07 ± 0,74	5,99 ± 0,47	5,97 ± 0,58	3,95 ± 0,61	2,24 ± 0,12	----------

Dados: Os valores precedidos pelo sinal ± representam o erro padrão da média.

Ao analisar as quantidades de cada nutriente em cada parte do cacho e dos frutos observou-se que os maiores valores estavam presentes nas seguintes partes: K - ráquila e epicarpo; N - mesocarpo; Ca - ráquila, epicarpo, mesocarpo e endocarpo; S - epicarpo, mesocarpo e endocarpo; Mg – ráquila e raque; P - amêndoa; Fe – ráquila,

mesocarpo e endocarpo; Zn – ráquila e endocarpo; Mn - raque e ráquila; Cu – Epicarpo e mesocarpo. De modo geral, observou-se que as maiores quantidades estavam presentes nas ráquilas, epicarpo e mesocarpo, os quais foram responsáveis por 64,17 % do total de nutrientes exportados pela colheita.

Os dados de exportação em diferentes estimativas de produtividade mostraram que em condições de máxima produção estimada, a exportação de K pode ultrapassar 250 kg ha^{-1}, ao passo que para N e Ca a exportação estaria em torno de 170 kg ha^{-1} (Tabela 8). Para os micronutrientes as maiores exportações seriam de Fe e Zn, sendo o total exportado de Fe 2,5 vezes maior que a de Zn.

Tabela 8. Quantidade de nutrientes exportados pela colheita (frutos + ráquilas + raque) em diferentes estimativas de produtividade de macaúba.

	Nutrientes	Produtividade estimada (t ha^{-1})				
		5	10	15	20	25
(kg)	N	34,67	69,34	104,01	138,68	173,35
	P	4,30	8,60	12,90	17,20	21,50
	K	51,31	102,63	153,94	205,25	256,57
	Ca	33,77	67,55	101,32	135,10	168,87
	Mg	7,80	15,60	23,41	31,21	39,01
	S	10,39	20,79	31,18	41,57	51,96
(g)	Mn	110,70	221,39	332,09	442,78	553,48
	Cu	43,47	86,93	130,40	173,86	217,33
	Fe	459,19	918,37	1377,56	1836,75	2295,94
	Zn	177,13	354,26	531,40	708,53	885,66

Discussão

Os resultados sobre partição da biomassa em plantas de macaúba mostraram que, assim como obtido para o dendê (Viegas, 1993), a maior fração da biomassa da matéria secas nas plantas de macaúba estavam presentes no caule. Todavia, a fração da matéria seca acumulada no caule da macaúba foi superior às descritas para o dendê, as quais foram de 41 % no dendê e de 67,29 % na macaúba. Esta diferença deve-se ao fato que no estudo com dendê terem sido avaliadas plantas jovens, ao passo que neste estudo foram avaliadas plantas adultas de macaúba. De acordo com Corley & Tinger (2003) o desenvolvimento do caule é lento nos anos iniciais, sendo que o maior crescimento e acúmulo de matéria seca ocorre apenas a partir do sexto ano.

Com relação aos teores de nutrientes nas partes das plantas, de modo geral o N apresentou os maiores teores entre os macronutrientes seguido K, Ca, S, Mg e P. O Fe apresentou o maior teor entre os micronutrientes avaliados seguido Mn, Zn e Cu. Observou-se que a porção interna do cabbage foi o local que em média apresentou os teores mais elevados de macronutrientes. Já a raiz foi o local com os maiores teores de micronutrientes. O cabbage (cabbage) é uma região de intensa atividade meristemática localizado no centro da copa das palmáceas e responsável pelo crescimento apical dessas plantas (Tomlinson, 1961). Desta forma, um elevado teor de N nesta parte da planta está relacionada à dinâmica de crescimento e diferenciação de tecidos, uma vez que o N é um dos elementos que mais afeta o crescimento, fazendo parte de proteínas, ácidos nucleicos, membranas e diversos hormônios vegetais (Mengel & Kirkby, 1987).

Os elevados teores de Fe na raiz, devem-se ao efeito de contaminação do material, tendo em vista a dificuldade de remover completamente o solo aderido às raízes durante os procedimentos de preparo das mesmas para análise. Além disso, os altos teores destes elementos no solo (Tabela 1), associados ao baixo pH favoreceram o aumento da disponibilidade desse e de outros elementos no solo rizosférico. A redução no pH do solo favorece a solubilização dos cátions metálicos Mn, Cu, Fe e Zn aumentando o teor das formas absorvíveis para as raízes (Malavolta, 1979).

A absorção pelas raízes e posterior translocação de elementos de maior valência para a parte aérea, depende da afinidade de transporte e da mobilidade pelo xilema (Marschner, 1995). Esta mobilidade está diretamente relacionada ao estado de oxidação do elemento, que no caso do Fe precisa ser reduzido de Fe^{3+} para Fe^{2+}, sendo que na forma iônica o Fe está sujeito a precipitação devido a formação de compostos insolúveis, sobretudo com íons fosfato (Kim & Guerinot, 2007; Robello et al., 2007). Esses fatores contribuem para uma maior acumulação, tanto do Fe quanto dos outros micronutrientes nas raízes quando comparado à parte aérea das plantas.

Apesar dos elevados teores de Fe encontrados nas raízes, os teores desse elemento nas demais parte da planta estão dentro dos limites críticos (50 – 150 mg kg^{-1}) consideradas como adequadas para um crescimento normal das plantas (Dechen & Nachtigall, 2008).

Estes resultados diferem dos apresentados por Viegas (1993) para o dendê no Brasil, o qual obteve teores mais elevados de K dentre os macronutrientes, seguido por

N, Ca, Mg, P, S e de Mn para os micronutrientes, seguido por Fe, Zn e Cu. Esse autor observou que os maiores teores de K estavam presentes no cabbage (cabbage) e os de Mn nos folíolos. Entretanto, estudos realizados por Tinker & Smilde (1963) também reportaram teores mais elevados de N em plantas de dendê de diferentes idades na Nigéria, de modo que os teores mais elevados foram encontrados nos tecidos da região apical da planta. Desta forma, é possível perceber que a ordem de classificação dos teores de nutrientes em função da magnitude dos valores de cada elemento pode variar, tanto entre diferentes palmáceas quanto para a mesma espécie em diferentes locais.

Ao analisar os dados de acúmulo de macronutrientes nas plantas foi possível constatar que, apesar dos teores mais elevados de N na maior parte das estruturas da planta, quando considerado o acúmulo total na planta, o K e Ca mostraram-se superiores ao N. Este resultado foi devido à grande concentração desses elementos no caule da planta, os quais foram em média 2,9 e 2,3 vezes superiores ao N. Para os micronutrientes avaliados a variação observada para o acúmulo foi semelhante ao dos teores. Contudo, observou-se que o acúmulo de Fe foi elevado quando comparado aos demais nutrientes, tendo sido em média 8,4, 9,8 e 39,4 vezes superior à concentração de Zn, Mn e Cu, respectivamente.

O acumulo total de Fe em plantas de dendê obtidos por Viegas (1993) foi 1,2 vezes superior ao obtido para a macaúba, sendo que a maior concentração no dendê foi observada no caule, correspondendo a 74 % do total acumulado em plantas com oito anos de idade. Neste trabalho o maior acúmulo foi observado nas partes senescidas, e no caule os quais responderam por 47,62 e 42,99 % do total acumulado, respectivamente. Estes dados evidenciam a elevada demanda por ferro apresentadas pelas palmáceas (Wijebandara, 2004).

Com relação ao acúmulo de nutrientes nas partes da planta observou-se que para quase todos os nutrientes avaliados, com exceção do Zn, o caule foi o local com maior acúmulo desses elementos na planta. Estes dados mostraram que o caule da macaúba constitui uma grande fonte de reserva de nutrientes para a planta. De acordo com Corley & Tinker (2003) o tronco das palmáceas é um eminente órgão de armazenamento, uma vez que constitui a maior porção da biomassa acumulada na planta, sobretudo em plantas adultas. O grande volume de tecidos parenquimáticos facilitaria a mobilização dessas reservas em condições nutricionais desfavoráveis.

Os dados de extração de nutrientes por área mostraram que as maiores quantidades extraídas foram de K, Ca e N, sendo a quantidade de Ca equivalente à de

K. Estes resultados evidenciam que apesar de se tratarem de plantas da mesma família, há diferenças relevantes quanto à ordem de exigência de nutrientes pela macaúba em relação a outras palmáceas. Nesta perspectiva é preciso considerar que diferentemente das recomendações de adubação feitas para outras palmáceas, como coco e dendê (Sobral, 1998; Viegas e Botelho, 2000) nas quais são priorizadas as adubações nitrogenada, potássica e fosfatada, atenção especial deve ser dada quanto ao fornecimento do Ca à macaúba. Desta forma, sugere-se que além do fornecimento por meio da calagem, seja feita a complementação do fornecimento de Ca por meio da aplicação de adubos enriquecidos com esse elemento.

Pela análise dos dados de imobilização de nutrientes nas partes senescidas, foi possível constatar que mais da metade do Mn presente na planta estava contido nestas estruturas, ao passo que para os demais nutrientes as porcentagens mantiveram-se em uma faixa próxima. Tem sido relatado que em plantas tolerantes ao excesso de Mn, uma das estratégias de tolerância seria a oxidação do Mn^{2+} à MnO_2, o qual seria posteriormente armazenado nas folhas mais velhas da planta (Marchner, 1995). Essa acumulação de óxidos de Mn nas folhas mais velhas forma manchas de coloração castanho escura, as quais são utilizadas para identificação dos sintomas de toxicidade de Mn (Mengel, 1987).

Dessa forma, fica evidente que o elevado acumulo de Mn nas partes senescidas da macaúba, constitui uma estratégia para contornar os possíveis efeitos tóxicos de elevadas concentrações desse elemento nos tecidos jovens da planta. Todavia é importante destacar que devido às frações consideráveis de nutrientes retidos nas partes senescidas, a manutenção desses resíduos na área após as operações de manejo da cultura, pode favorecer a reciclagem destes nutrientes após a decomposição dessas estruturas. Contudo, não é possível inferir sobre a velocidade de disponibilização destes nutrientes para as plantas, uma vez essa disponibilização depende diretamente da taxa de decomposição e mineralização desses resíduos pela ação das comunidades de microrganismo decompositores (Cunha & Bianchini Junior, 1998; Vargas & Scholles, 2000).

Os dados de exportação de nutrientes pela colheita mostram que, assim como já observado para o acúmulo na planta, o K é o elemento exportado em maior quantidade seguido pelo Ca e N. Dentre os micronutrientes o Fe é o mais exportado. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Viegas (1993) para dendê, tendo os teores de N sido maiores que os de Ca.

É importante observar que no processamento dos frutos é possível aproveitar todas as partes para a geração de coprodutos (Moteoike & Kuki, 2009; Lanes et al., 2014), entretanto não se tem relatos do aproveitamento do cacho (raque + ráquilas). Considerando que esse representa 36,6 % da quantidade de nutrientes exportada pela colheita, deve-se considerar alternativas de uso que possibilitem o reaproveitamento destes nutrientes, como por exemplo, a aplicação desses resíduos nas áreas de cultivo.

Os resultados de exportação em diferentes estimativas de produtividade mostram que o K, N e Ca são os elementos exportados em maiores quantidades. Ao considerar a lei da restituição enunciada por Voisin (1973), esses resultados permitem estimar a quantidade a ser reposta de acordo com a expectativa de produtividade do talhão. Contudo, uma recomendação de adubação baseada nesse critério deve levar em conta a porcentagem de aproveitamento do nutriente aplicado em função das perdas que ocorrem durante o processo (Malavolta, 2006).

Conclusões

O caule constitui a estrutura de maior acúmulo de matéria seca e nutrientes em plantas de macaúba.

O nitrogênio é o nutriente que apresenta os maiores teores nos folíolos, inflorescência, amêndoa, folíolos senescidos e porção interna do cabbage, sendo este último o local de maior acúmulo.

Potássio, cálcio e nitrogênio são os nutrientes mais extraídos, acumulados e exportados pela macaúba.

A macaúba possui grande potencial para reciclagem de nutrientes imobilizados nas partes senescidas aderidas ao tronco das plantas.

Para um adequado manejo nutricional da macaúba, deve ser data especial atenção ao estado nutricional do Ca, uma vez que trata-se de um elemento extraído, acumulado e exportado em grandes quantidades quando comparado a outras culturas, devendo ser adequadamente reposto por meio de adubações equilibradas, com vista a evitar possíveis deficiências.

Referências bibliográficas

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 12 ed. Washington, 1975. 1094p.

BERNDES, G.; HOOGWIJKB, M.; VAN DEN BROEKC, R. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. **Biomass and Bioenergy,** n. 25, p. 1 – 28, 2003.

BINKLEY, D. **Forest nutrition management**. Wiley, New York, 1986.

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., ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, p.1149-1178, 1965.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The oil palm**. Blackwell Science, Oxford, 4 ed., 2003. 608p.

CUNHA, M. B.; BIANCHINI JUNIOR, I. Cinéticas de mineralização aeróbica de celulose e lignina durante a degradação de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis*. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 10, n. 2, p. 59-69, 1998.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. SBCS, Viçosa, 2006. 432p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269p.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, PrenticeHall, 1958. 498p.

JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles, University of California, v.766, p.32-33, 1959.

KIM, S. A.; GUERINOT, M. L. Mining iron: Iron uptake and transport in plants: Minireview. **FEBS Letters**, v. 581, ed. 12, p. 2273–2280, 2007.

LANES, E. C. M.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; NICK, C.; FREITAS, R. D. Molecular Characterization and Population Structure of the Macaw Palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), Ex Situ Germplasm Collection Using Microsatellites Markers. **Journal of Heredity**, 2014.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 4a edição. São Paulo SP, Editora Agronomia Ceres, 1979. 255p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.

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

MENGEL, K.; KIRKLY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 9 ed. Internacional Potash Institute, 1987.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1023-1031, 2002.

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, 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**. Editora UFV. Viçosa, MG, 2013. 61p.

OUVRIER, M. Exportation par la récolte du cocotier PB-121 em function de la fumure potassique et magnésienne. **Oléagineux**, Montpellier, v.39, p. 263-71, 1984.

PILLAI, N. G.; DAVIS, T. A. Exhaust of macronutrients by the coconut palm a preliminary study. **Indian Coconut Journal**, v.16, n.2, p. 81-87, 1963.

PIMENTEL, L. D. **Nutrição mineral da macaúba: bases para adubação e cultivo**. 2012. 126f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; TEIXEIRA, C. M.; MOTOIKE, S. Y.; NETO, J. C. P. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1ª aproximação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG: EPAMIG, v. 32, n. 265, p. 20-30, 2011.

PIRES, T. P.; SOUZA, E. S.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S.Y. Ecophysiological traits of macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**. v. 44, p.200-210, 2013.

ROBELLO, E.; GALATRO, A. PUNTARULO, S. Iron role in oxidative metabolism of soybean axes upon growth. Effect of iron overload. **Plant Science**, v. 172, p. 939-947, 2007.

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** (2ª ed.). Brasília: Embrapa-SPI, p. 129-157, 1998. 292p.

TINKER, P. B. H.; SMILDE, K. W. Dry-matter production and nutrient content of plantation oil palms in Nigeria. **Plant and Soil**, v. 19, n. 3, p. 350-363, 1963.

TOMLINSON, P. B. **Anatomy of the Monocotyledons**, Palmae, Oxford, v. 2, 1961.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO_2 e n mineral de um Podzólico Vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 35-42, 2000.

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

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.

VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forest at in ecosystem level. **Plant and Soil,** v. 200, p. 71-89, 1998.

VOISIN, A. Adubos - **Novas leis científicas de sua aplicação**. São Paulo, Mestre Jou, 1973. 130p.

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

ARTIGO III

RESPOSTA DA MACAÚBA ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA

Resumo – A avaliação da resposta da macaúba a adubação é um fator importante para o ajuste da recomendação de adubação da cultura em cultivos racionais. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de cinco doses de NK sobre características de crescimento, componentes de produção e teores foliares de N e K em três acessos de macaúba na fase inicial do desenvolvimento. Utilizou-se o esquema de parcelas sub-subdivididas no tempo, tendo na parcela cinco doses de NK (0, 115, 230, 346 e 461 g/planta na proporção de 0,42:0,58 para N e K_2O, respectivamente); na subparcela os três acessos originários de regiões de Minas Gerais; na sub-subparcela os anos de avaliação. Avaliaram-se as características de crescimento, os componentes da produção inicial e teores foliares de N e K. A máxima resposta para a altura de planta e número de folhas na última avaliação foi atingida com as doses de 321,25 e 345,4 g/planta de NK, respectivamente. O acesso de Barroso apresentou melhor desempenho quanto as características de crescimento e componentes de produção. A adubação com NK promoveu incremento no crescimento das plantas no período de avaliação. Não houve efeito das doses de NK aplicadas sobre os componentes da primeira produção. Os acessos de macaúba avaliados apresentaram resposta diferenciada com relação as características de crescimento e componentes de produção, sendo que o acesso de Barroso foi superior aos demais, apresentando maior crescimento, número de espatas emitidas e cachos. Houve redução dos teores foliares de N e K com o crescimento da cultura.

Termos para indexação: Características de crescimento, *Acrocomia aculeata*, produção, nutrientes.

Response to macaw palm fertilization with different nitrogen and potassium levels

Abstract - The evaluation of the macaw palm response to fertilization is an important factor to adjust the fertilizer recommendation on rational crops. This study aimed to evaluate the effect of application of the five NK rates on growth characteristics, yield components and foliar content of N and K in macaw palm in the early stages of development. It was used the split-split-plot design in a time, in the plot having NK five rates (0, 115, 230, 346 and 461 g/plant in a proportion of 0.42:0.58 N and K_2O, respectively) ; the subplot three hits originating from regions of Minas Gerais; in sub-subplot year assessment. Evaluated the growth characteristics, the components of the initial production and foliar N and K content. The maximum response for plant height and number of leaves in the last evaluation was achieved with rates of 321.25 and 345.4 g/NK plant, respectively. The Barroso access performed better as the growth characteristics and yield components. A fertilizer with NK promoted increase in plant growth during the period of evaluation. There was no effect of NK rates applied on the first production components. Accesses evaluated of macaw palm had different responses regarding the growth characteristics and yield components, and the Barroso access was superior to the others, presenting higher growth, number of spathes and bunches. There was a reduction of foliar N and K with the crop growth.

Index terms: Growth parameters, *Acrocomia aculeata*, production, nutrient.

Introdução

A macaúba *(Acrocomia aculeata)* é classificada como uma palmeira de elevada produção que tem despertado à atenção de diversos segmentos da indústria oleoquímica, de combustíveis, cosméticos e alimentos (Motoike et al., 2013). Além da elevada produção de óleo a macaúba apresenta outras vantagens como rusticidade e geração de coprodutos de alto valor agregado (Motoike & Kuki, 2009). Outro fator importante a ser considerado é a ampla distribuição geográfica da espécie, que ocorre desde a América Central até o Sul da América do Sul (Henderson et al., 1995).

Entretanto, apesar das potencialidades e do grande interesse pela macaúba, a consolidação da cadeia produtiva, de forma a viabilizar a exploração industrial, ainda depende do conhecimento dos processos envolvidos em todas as etapas do sistema produtivo. Diversas pesquisas vêm sendo conduzidas com o intuito de desenvolver os conhecimentos científicos necessários à sua exploração (Scariot et al., 1995; Motta at al., 2002; Lorenzi, 2006), dentre os quais destacam-se o desenvolvimento da tecnologia para a produção das sementes pré-germinadas de macaúba (Motoike et al., 2007). Além disso, muitos aspectos importantes para o cultivo da macaúba ainda são pouco conhecidos, como por exemplo, as exigências climáticas e nutricionais, as quais podem afetar diretamente o desenvolvimento da cultura.

A nutrição mineral é definida como sendo o suprimento e absorção de componentes químicos essenciais ao metabolismo e crescimento das plantas (Mengel, 1987). Esses componentes químicos essenciais ao metabolismo, denominados nutrientes, exercem papel elementar em uma serie de reações a nível celular, podendo funcionar como constituintes de estruturas orgânicas, como ativadores enzimáticos, carreadores, osmorreguladores entre outros (Mengel, 1987; Marschner, 1995).

Nitrogênio e Potássio são os dois nutrientes exigidos em maior quantidade pelas plantas (Malavolta, 1980). O N é constituinte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hormônios, clorofila entre outros, e o K participa na translocação de açúcares, formação de amido, ajuste osmótico, abertura e fechamento estomático entre outras funções (Mengel, 1987; Marschner, 1995). Em palmáceas o adequado fornecimento dos nutrientes é importante tanto na fase de desenvolvimento favorecendo o crescimento do tronco e produção de folhas, quanto na fase produtiva para emissão de inflorescências e cachos (Corley & Tinkey, 2003). De acordo com Sobral (1998) e Viegas & Botelho (2000) deficiências de N em coco e dendê causam

amarelecimento das folhas, redução no crescimento, no número de flores femininas e em casos mais graves pode ocorrer necrose do tecido. Já a deficiência de K pode causar mancha e clorose nas folhas mais velhas e redução da produtividade.

Apesar de ser uma planta de ocorrência comumente associada a solos férteis (Motta et al., 2002), as exigências nutricionais da macaúba são poucos conhecidas, sendo escassos na literatura trabalhos que tratam deste tema. Os primeiros trabalhos relacionados ao estudo das questões nutricionais na macaúba foram iniciados por Pimentel (2012) com a caracterização dos sintomas de deficiência nutricional em mudas e à resposta a diferentes níveis de fertilização em plantas cultivadas em viveiro e em condições de campo na fase inicial do desenvolvimento. Entretanto, resultados reportando a resposta à adubação, sobretudo em plantas com estágio mais avançado de desenvolvimento, não são encontrados na literatura. Desta forma, estes dados visam contribuir para o ajuste da adubação nitrogenada e potássica na cultura da macaúba.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de cinco doses de NK sobre o crescimento, componentes de produção e teores foliares de N e K em três acessos de macaúba na fase inicial do desenvolvimento da cultura.

Materiais e Métodos

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental de Araponga, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizada em Araponga, MG (20°39'16.63"S e 42°31'59.40"O, a 876 metros de altitude). O clima da região, segundo classificação de Köppen é C_{wb} (Clima Temperado úmido (C), com inverno seco (w) e verão moderadamente quente (b).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Alumínico – LVAa de textura Argilo-arenosa (SANTOS et al, 2006), situado no terço superior de uma encosta, com declividade aproximada de 25%, cujos atributos químicos são apresentados na Tabela 1.

O experimento foi montado por Pimentel (2012) no esquema de parcelas sub-subdivididas no tempo, tendo na parcela as doses de NK, na subparcela três acessos originários de diferentes regiões de MG, e na sub-subparcela os anos de avaliação, arranjados no DBC com três repetições. As cinco doses de NK estudadas foram: 0, 115, 230, 346 e 461 g/planta de NK na proporção de 0,42 de N e 0,58 de K_2O, tendo como fontes destes nutrientes a ureia e o cloreto de potássio.

Tabela 1. Atributos químicos do LVAa da área experimental em diferentes profundidades.

Prof.	pH	P	K	P_{rem}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H + Al^{3+}	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	MO
	(H_2O)	mg dm^{-3}		mg L^{-1}	.....$cmol_c$ dm^{-3}.....							.....%.....		dag kg^{-1}
Antes da implantação														
0-20	5,1	2,9	35	13,6	0,2	0,1	2,0	12,5	0,39	2,4	12,9	3	84	6,9
20-40	4,9	1,1	23	11,1	0,0	0,1	1,2	9,4	0,16	1,4	9,6	2	88	4,8
2014														
0-20	4,7	4,9	79,3	1,5	0,3	1,7	14,2	2,0	3,6	16,0	12,3	46,0	6,65	7,5
20-40	4,6	3,2	62,7	1,0	0,2	1,5	11,8	1,4	2,9	13,2	10,4	53,4	5,4	6,5

Dados:
P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; Mat. Org. (MO) - Oxidação: $Na_2Cr_2O_7$ 4N + H_2SO_4 10N.

Os acessos genéticos estudados eram originários de Piranga na Zona Mata (acesso 1); Betim no Quadrilátero Ferrífero (acesso 2) e Barroso no Campo das Vertentes (acesso 3), representando três populações de macaúba no estado de MG. As avaliações foram iniciadas dois anos após o plantio das mudas no campo, de modo que o primeiro ano de avaliação correspondeu ao terceiro ano após o plantio. A unidade experimental foi constituída por três plantas na subparcela.

De acordo com Pimentel (2012) as mudas utilizadas na implantação do experimento foram produzidas a partir de sementes extraídas de frutos coletados em uma única planta de cada acesso nas regiões citadas anteriormente. Após a coleta as sementes foram pré-germinadas em laboratório especializado na UFV, seguindo o método desenvolvido por Motoike et al. (2007). O plantio das mudas no campo ocorreu quando estas alcançaram oito meses de idade.

Utilizou-se o espaçamento 5 x 5 m entre plantas e entre linhas, tendo sido abertas covas cilíndricas com 46 cm de diâmetro por 50 cm de profundidade. No plantio foi aplicada uma adubação básica por cova composta por 400 g de superfosfato simples e 200 g de calcário dolomítico. A primeira adubação de cobertura, idêntica para todos os tratamentos, foi composta por 40 g de ureia, 40 g de KCl e 25 g de bórax por planta (abril/2009). Os tratamentos foram iniciados no início da estação chuvosa subsequente ao plantio (out./2009), sendo as doses de NK parceladas em duas aplicações, 50 % no início e 50 % no final da estação chuvosa.

Para o estabelecimento das doses de NK utilizadas neste trabalho foi definida uma dose de referência, a qual foi estimada segundo Pimentel (2012) com base nas recomendações de Sobral (1998) para o dendê *(Elaeis guineenses)* e Viégas & Botelho (2000) para o coco *(Cocus nucifera).* A dose de referência correspondeu à média das doses de N e K por ha recomendados para estas palmáceas. Os tratamentos foram dimensionados considerando os percentuais de 0, 30, 60, 90 e 120% da dose de referência, tendo as doses por planta sido ajustadas em função do stand de plantas de macaúba de 400 plantas/ha.

O monitoramento da fertilidade do solo durante a condução do experimento foi feito pela comparação entre os resultados obtidos na análise do solo e os teores de nutrientes determinados pela análise foliar. A calagem foi feita em área total, tendo sido aplicado 4,70; 4,5; 4,10 e 3,70 t ha^{-1} de calcário dolomítico PRNT 95 % nos anos subsequentes. A adubação complementar foi feita utilizando-se 20 g ha ano^{-1} de sulfato de zinco, 15 g ácido bórico e 24 g de sulfato de cobre nos anos subsequentes.

As avaliações de desenvolvimento das plantas iniciaram-se no terceiro ano após a implantação do experimento (julho/2011), tendo sido avaliados a altura de planta (AP), o número total de folhas (NF) e teores foliares de N e K. Em 2012 foram acrescentadas às avaliações de projeção da copa (PC), comprimento da folha (CF) e largura da folha (LF).

A amostragem das folhas para análise química do tecido foi feita coletando-se os folíolos na porção mediana da terceira ou quarta folha expandida, do ápice para a base de cada planta dentro da unidade experimental, obtendo-se uma amostra composta. Essas amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 65 ºC até atingirem massa constante e moídas em moinho tipo Willey. Os teores de N foram determinados pelo método Kjeldahl, de modo que o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica (Jackson, 1958), sendo o nutriente quantificado por titulometria de acordo com o método descrito por Bremner (1965). Os teores de K foram determinados por fotometria de emissão de chama.

Os componentes de produção número de espatas emitidas (NEE), número de cachos (NC), número de frutos por planta (NFP) e massa da matéria seca de frutos (MSF) foram obtidos somente para o ano de 2014, uma vez que as plantas iniciaram a produção no ano de 2013.

Os dados de componentes de produção em razão de não terem seguido distribuição normal foram transformados pela equação $X=\sqrt{(x+1)}$. Posteriormente

procederam-se às análises de variância e regressão dos dados de produção, variáveis de crescimento e teores de N e K nos folíolos. As médias de tratamentos e os coeficientes dos parâmetros da regressão foram comparadas pelo teste Tukey e pelo teste t a 5 % de probabilidade, repectivamente. As doses para obtenção da máxima resposta foram calculadas igualando-se a zero a primeira derivada das equações de regressão.

Resultados

A análise de variância dos dados apresentou efeito significativo dos fatores estudados isoladamente sobre a maioria das características avaliadas, tendo sido observadas interações entre Dose x Acesso na largura da folha; Dose x Ano na altura da planta e no número de folhas e teores foliares de K; Acesso x Ano na altura da planta, número de folhas, diâmetro de projeção da copa e comprimento da folha (Tabela 2). Não foi observada interação tripla entre os fatores para as características avaliadas.

O fator ano apresentou efeito significativo e positivo para todas as variáveis avaliadas, ao passo que o acesso mostrou efeito significativo para todas as características de crescimento avaliados e para o número de espatas e cachos emitidos. Já as doses testadas mostraram efeito significativo para AP, PC, CF, LF e teores de K.

O efeito significativo para o fator ano, já era esperado, e indica que houve crescimento das plantas com as sucessivas avaliações. Para as interações estudadas observou-se que a maior parte dos efeitos significativos foram obtidos para as interações que envolvem o fator ano. A interação entre dose e acesso foi significativa apenas para largura de folha, mostrando que de modo geral, a resposta da planta quanto ao desenvolvimento e produção é pouco afetada pela interação destes dois fatores.

A altura de planta (AP) mostrou resposta linear às doses de NK nos quatro anos iniciais de avaliação, tendo sido observado incremento da AP com o aumento das doses aplicadas, não tendo sido alcançada a máxima resposta nos três primeiros anos. A avaliação realizada no último ano mostrou resposta diferenciada em relação aos três primeiros, obtendo-se melhor ajuste ao modelo cúbico para a AP. Foi possível observar um incremento significativo na AP com o aumento das doses de NK até o ponto de máxima resposta, com posterior redução com o aumento da dose. A máxima resposta para a altura de planta de 5,09 m foi obtida na dose de 345,4 g/planta de NK para o último ano de avaliação (Figura 1A).

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos atributos altura de planta (AP), número de folhas (NF), projeção da copa (PC), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF), número de espatas emitidas (NEE), número de cachos (NC), número de frutos por planta (NFP), massa da matéria seca de frutos (MSF) e teores foliares de N e K na macaúba.

Atributos avaliados	Fontes de variação									
	----------Fatores----------									
	Dose (D)	CV (%)	Acesso[1] (Ac)	D x ac[1]	CV (%)	Ano (A)	D x A	Ac[1] x A	D x ac[1] x A	CV (%)
	----------Quadrado médio----------									
AP	10,83**	0,52	10,31**	0,44ns	0,23	54,24**	0,64**	1,23**	0,22ns	15,00
NF	114,85ns	64,15	164,11**	8,92ns	21,63	1038,47**	25,19**	35,69**	5,63ns	21,31
PC	8,22**	0,28	6,24**	0,56ns	0,13	51,35**	0,06ns	2,11**	0,25ns	9,96
CF	1,32**	0,21	1,40**	0,14ns	0,10	2,53*	0,05ns	3837,44**	0,06ns	9,01
LF	0,35**	0,18	0,07**	0,031*	0,10	0,70**	0,003ns	0,03ns	0,02ns	11,49
NEE[1]	0,21ns	38,71	1,13**	0,044ns	29,02	-------	-------	-------	-------	-------
NC[1]	0,09ns	25,21	0,41**	0,03ns	18,73	-------	-------	-------	-------	-------
NFP[1]	7,45ns	74,95	8,22ns	1,08ns	98,28	-------	-------	-------	-------	-------
MSF[1]	0,022ns	9,29	0,03ns	0,015ns	11,93	-------	-------	-------	-------	-------
N	5,60ns	13,30	5,07ns	3,81ns	9,06	1680,43**	7,91ns	8,56ns	6,98ns	8,3
K	40,02**	31,19	0,10ns	2,51ns	18,62	306,37**	10,56**	0,67ns	0,97ns	15,11

Características fitotécnicas

1 = Dados transformados segundo a equação: $X = \sqrt{(x+1)}$.
ns,*,** = não significativo, significativo a 5 % e a 1 % pelo teste F.

A comparação entre os acessos mostrou que, com exceção à avaliação realizada no segundo ano, o acesso de Barroso apresentou maior altura de plantas nas demais avaliações. Os acessos de Betim e Piranga não diferiram entre si para esta característica (Tabela 3).

Para o número de folhas obteve-se ajuste do modelo linear crescente em relação as doses de NK nos três primeiros anos de avaliação. Porém, na última avaliação foi obtido melhor ajuste do modelo quadrático ao NF, com a máxima resposta de 22,86 folhas com a dose de 331,25 g/planta de NK. Observou-se um incremento médio de 10,6 folhas na última avaliação em relação as avaliações anteriores (Figura 1B).

O diâmetro da projeção de copa (PC) e o comprimento de folha (CF) apresentaram resposta linear crescente em relação às doses de NK (Figura 1C), não sendo observada interação entre Dose x Acesso e Dose x Ano (Tabela 2). Contudo, a partir da terceira avaliação os acessos diferiram significativamente entre si para as

características PC e CF, sendo que o acesso de Barroso diferiu dos demais para essas características (Tabela 3).

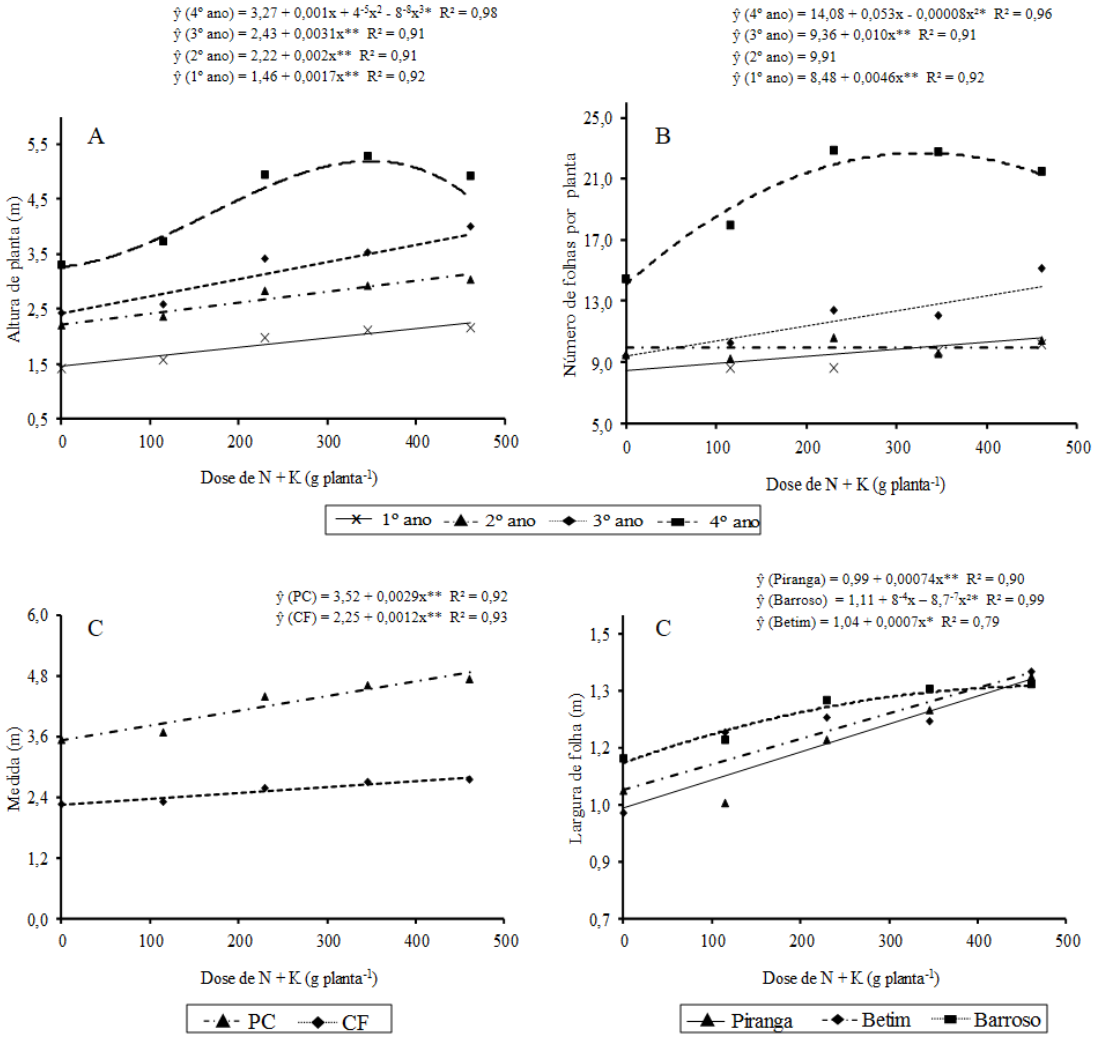

Figura 1 – Características de crescimento: A – altura de planta e B, número de folhas por planta ao longo dos anos de avaliação; C – diâmetro de projeção da copa (PC), comprimento da folha (CF); D – largura de folha para os três acessos de macaúba em função das doses de NK. Dados: ** e * Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Os acessos apresentaram respostas diferenciadas quanto à largura de folha (LF) em relação às doses de NK. Para o acesso de Barroso obteve-se melhor ajuste do modelo quadrático, tendo atingido a máxima resposta de 1,29 m com a dose 459,8 g/planta. A resposta dos demais acessos foi melhor representada pelo modelo linear crescente, não tendo atingido o ponto de máxima resposta (Figura 1D).

Tabela 3. Características de crescimento da macaúba para a comparação do efeito dos acessos ao longo dos anos de avaliação.

Acesso	Ano de avaliação			
	1º[(1)]	2º	3º	4º
		Altura de planta (m)		
Piranga	1,57b	2,73a	2,73b	3,86b
Betim	1,74b	2,52a	2,98b	4,31b
Barroso	2,25a	2,78a	3,74a	5,25a
		Número de folhas (NF/planta)		
Piranga	9,10a	10,31a	10,16b	16,78b
Betim	9,13a	9,12a	10,52b	19,01b
Barroso	10,36a	10,29a	14,23a	23,58a
		Diâmetro de projeção da copa - PC (m)		
Piranga	----------	3,13a	3,76c	4,56b
Betim	----------	2,82a	4,57b	5,20a
Barroso	----------	3,10a	5,03a	5,56a
		Comprimento de folha - CF (m)		
Piranga	----------	2,35a	2,19c	2,52b
Betim	----------	2,20a	2,51b	2,82a
Barroso	----------	2,37a	2,76a	2,98a

[(1)] As características diâmetro de projeção da copa, comprimento e largura de folhas não foram avaliadas para o ano de 2011. Médias seguidas por mesma letra na coluna não deferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

O número de espatas emitidas (NEE) e o número de cachos (NC) mostraram efeito significativo somente para o fator acesso. A massa da matéria seca de frutos (MSF) e número de frutos por planta (NFP) não mostraram efeito significativo, tanto para os fatores estudados individualmente quanto para o efeito das interações (Tabela 2). A comparação entre os acessos mostrou que o acesso de Barroso foi superior aos demais quanto ao NEE e NC (Figura 2).

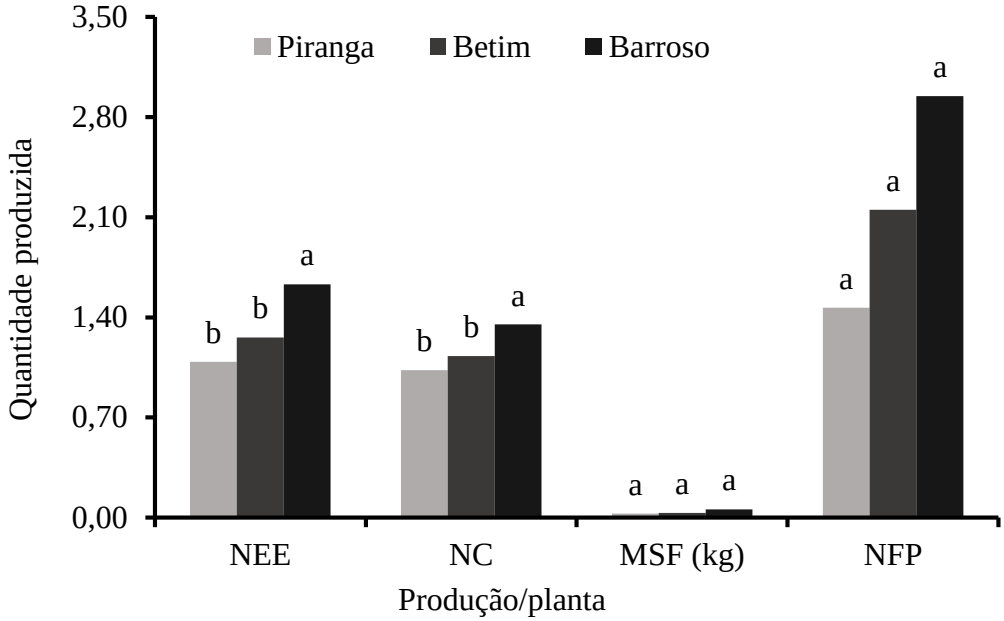

Figura 2 – Componentes de produção: número de espatas emitidas (NEE), número de cachos (NC), massa da matéria seca de frutos (MSF) e número de frutos por planta (NFP) para os três acessos de macaúba no quinto ano de cultivo. Médias seguidas por mesma letra na coluna não deferem entre si ao nível de significância de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

O teor foliar de N foi significativo somente para o fator Ano, havendo diferença significativa entre os teores desse elemento em todas as avaliações (Figura 3A). Observou-se redução gradativa do teor foliar de N ao longo das avaliações, de modo que a maior magnitude de redução foi observada da segunda para a terceira avaliação.

Para os teores foliares de K, houve efeito positivo da interação Dose x Ano, obtendo-se ajuste dos modelos quadrático na primeira avaliação, raiz quadrático na segunda e terceira e linear na última avaliação (Figura 3B). A máxima resposta para os teores foliares de 10,6 e 7,0 g kg^{-1} K foi obtido com a dose de 225 e 100 g/planta de NK na segunda e terceira avalição. Na primeira avaliação, apesar do efeito quadrático, a máxima resposta não foi atingida com a maior dose estudada. Assim como para o N, também foi observado redução dos teores foliares de K ao longo das avaliações.

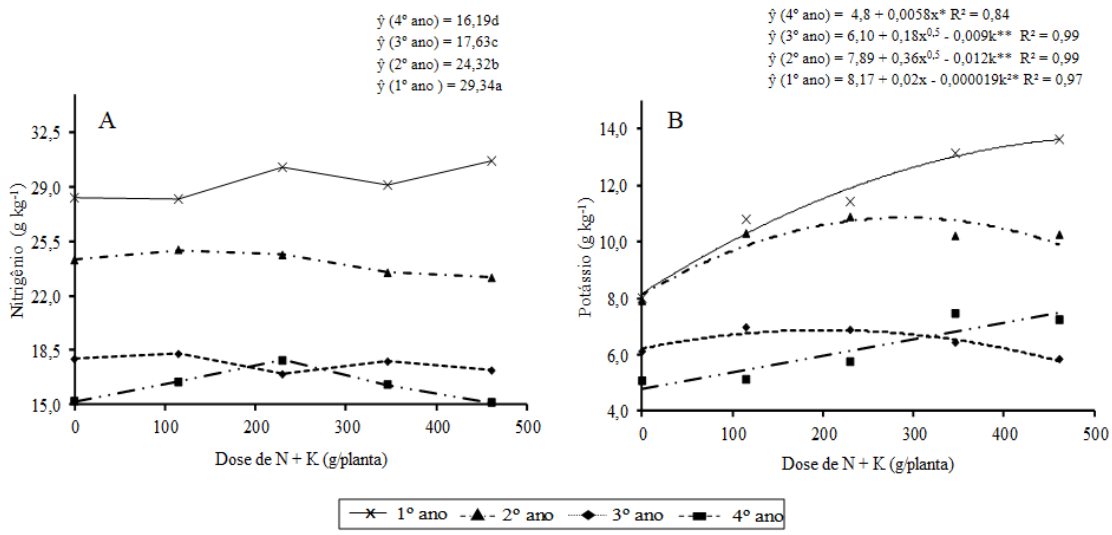

Figura 3 – Teores foliolares de N (A) e K (B) em função das doses de NK e do ano de avaliação. Dados: * e ** Significativo a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente.

Discussão

Os resultados das características fitotécnicas da macaúba mostraram que, de maneira geral, as plantas apresentaram resposta linear crescente às doses de NK aplicadas, sendo que somente a altura de planta (AP) e o número de folhas (NF) atingiram a máxima resposta no último ano de avaliação. Também observou-se que para a AP e NF a resposta obtida nas primeiras avaliações foi inferior à aquela obtida na última avaliação.

Estes resultados devem-se possivelmente ao fato de que por apresentar crescimento inicial lento, comum em palmeiras (Corley & Tinker, 2003), grande parte das reservas nutricionais possivelmente foram direcionadas ao crescimento de raízes e da estrutura basal subterrânea da qual as raízes são emitidas, que em plantas adultas pode chegar a mais de um metro de profundidade (dados não publicados).

Os valores de altura de planta apresentados neste trabalho foram semelhantes aos obtidos por Teles (2009), o qual estudando populações de ocorrência natural de macaúba no estado de Goiás obteve uma média geral de 5,5 m. Todavia, é importante ressaltar que os resultados obtidos pelo mesmo autor são referentes a plantas adultas e não adubadas que já se encontravam em fase reprodutiva plena.

Para o número de folhas (NF) o incremento observado no último ano coincide com o início da fase produtiva das plantas, e considerando que a emissão de inflorescência, promove aumento no requerimento de fotoassimilados, devido ao intenso consumo de carboidratos, para a formação das inflorescências (Cruz et al., 2007), o aumento no número de folhas seria uma estratégia para se adequar a estas condições.

O valor obtido para NF na última época de avaliação, apesar de elevado quando comparado aos anos anteriores, está de acordo com o descrito por Martins (2000), segundo o qual o número de folhas em plantas adultas pode variar de 24 a 35. Desta forma estes resultados indicam que ao passar da fase juvenil para a fase adulta, a planta necessita desenvolver um aparato foliar que atenda a maior demanda fotossintética nesta fase do desenvolvimento, e que a aplicação de maiores doses de NK potencializou este efeito.

As características diâmetro de projeção da copa (PC), comprimento de folha (CF) e largura de folha (LF), de modo geral, responderam de forma similar às doses de NK aplicadas não atingindo a máxima resposta em crescimento. Estas características são importantes, pois definem o tamanho, formato e posição de copa de uma árvore, relacionando-se com a quantidade e qualidade de luz interceptada, e afetando diretamente a taxa fotossintética da planta e o grau de sombreamento proporcionado às espécies do sub-bosque (Gonçalves et al., 2010).

Do ponto de vista prático estes dados podem ser utilizados para definir melhores espaçamentos para sistemas de cultivo, sobretudo, em sistemas de consórcio e integração como os sistemas agroflorestais (SAF) e integração lavoura-pecuária (ILP). Entretanto, apesar da importância desses dados não foram encontradas na literatura dados sobre projeção de copa e largura de folha da macaúba, bem como da variação dessas características com o desenvolvimento da planta. Em outras palmáceas, como por exemplo o dendê, Corley e Gray (1976) observaram que os valores de projeção de copa aumentavam com a idade e atingiam o seu máximo estável após cerca de 10 anos de idade. Já Foale (1993) observou que em plantações de coco o tamanho da copa se reduzia com a idade do plantio, afetando a quantidade de luz transmitida para o sub- bosque.

O comprimento de folha apresentado neste trabalho foi superior ao descrito por Barleto (2011) o qual obteve comprimento médio variando entre 1,7 e 1,8 m para plantas de macaúba adubadas e não adubadas, respectivamente, não tendo o mesmo

autor observado diferença significativa entre os dois tratamentos. Entretanto, o comprimento de folha obtido neste trabalho foi inferior ao descrito por Lorenzi et al. (1996) para plantas adultas, podendo variar de 4 a 5 m, indicando que as plantas podem ainda não ter atingido o máximo comprimento das folhas para a fase adulta.

Os resultados referentes ao efeito da interação Acesso x Ano de avaliação para as características de crescimento e componentes de produção mostraram que, de modo geral, o acesso de Barroso se mostrou superior para a maioria das características avaliadas, diferindo-se significativamente, sobretudo, do acesso Piranga, o qual apresentou desempenho inferior para essas características (Tabela 3 e Figura 2).

Para a característica AP, apesar do acesso de Barroso ter apresentado valores superiores aos demais, quando analisada para fins de exploração comercial, valores elevados para esta característica podem não ser considerados interessantes. Segundo Viegas (1993) a altura de planta na cultura do dendê *(Elaeis guineenses)* é considerada como uma das principais características avaliadas. Ainda segundo o mesmo autor, esta importância se deve ao fato de a altura de planta influenciar na altura dos cachos, de modo que plantas mais altas, consequentemente, proporcionaram dificuldades e demora na colheita, elevando o custo de produção. Considerando que tanto a macaúba quanto o dendê serão cultivados com finalidade de produção de frutos para extração de óleo, é desejável, do ponto de vista econômico, que o crescimento vertical seja lento, de forma a propiciar maior longevidade na exploração comercial.

De modo geral, os resultados sugerem que plantas provenientes da região de Barroso (MG) apresentaram um padrão de crescimento diferenciado com relação às características fitotécnicas avaliadas, o qual conferiu maior vigor e melhor desempenho quando comparado aos acessos das outras regiões. Segundo Lemos Filho et al. (2008) populações de uma mesma espécie que evoluíram em ambientes distintos apresentam diferenças ecofisiológicas e morfológicas em resposta às condições ambientais as quais foram submetidas, sendo está característica definida como plasticidade fenotípica.

Para os componentes de produção massa da matéria seca de frutos (MSF) e número de frutos por planta (NFP) a resposta obtida deveu-se à elevada desuniformidade apresentada na primeira produção. Esta resposta pode ser considerada comum, uma vez que é relatada para outras palmáceas como o dendê (Corley & Tinker, 2003). Novaes (1952) relata, que tanto o número de cachos como o

número de frutos por cacho na fase inicial da planta são significativamente inferiores aos das plantas em plena maturidade.

Os resultados referentes aos teores foliares de N e K na macaúba mostraram claramente que houve variação destes de acordo com a idade, ou fase de desenvolvimento da planta, e mais especificamente o K, também variou com a dose de NK aplicada. A redução dos teores destes elementos ao longo dos anos deve-se possivelmente ao efeito de diluição pelo crescimento das plantas relatado por Jarrell & Beverly (1981), no qual os nutrientes podem ser retranslocados e remobilidados de acordo com a demanda nos pontos de maior crescimento (Marchner, 1995). Também é possível que a dose de NK aplicada não tenha sido suficiente para atender a demanda das plantas durante o crescimento e desenvolvimento.

A adequada interpretação dos teores foliares de nutrientes deve ser feita com base no nível crítico para cada nutriente, o qual deve ser obtido de populações de plantas altamente produtivas, da mesma espécie e variedade (Malavolta et al., 1997). Entretanto, por se tratar de uma cultura que ainda está em fase de domesticação, estes dados ainda não estão disponíveis para a cultura da macaúba. Valores de referência apresentados para outras palmáceas na fase adulta mostram que, o nível crítico de N e K na folha 17 do dendê é de 25,0 e 10 g kg^{-1}, respectivamente (Viegas & Botelho, 2000). Para o coqueiro gigante o nível crítico de N e K na folha 14 é de 18,0 e 8,0 g kg^{-1}, respectivamente (Sobral, 1998).

Ao comparar a média dos teores de N e K obtidos neste trabalho para os dois últimos anos de avaliação, observa-se que estes são inferiores aos apresentados para as duas palmáceas em questão. Contudo, por se tratar de palmáceas distintas quanto ao gênero, não é possível determinar a magnitude destes teores.

Todavia, os teores de N e K apresentados neste trabalho estão de acordo com os obtidos por Barleto (2011) para plantas de macaúba no estágio juvenil em sistema adubado com 23 e 9 g kg^{-1} e não adubado 22 e 11 g kg^{-1} de N e K, respectivamente. Com relação aos teores de N e K obtidos para as duas últimas avaliações, apesar de serem inferiores aos obtidos nos primeiros anos de avaliações, estão de acordo com os encontrados por Teles et al. (2009) em plantas não floridas de 15,9 e 8,9 g k^{-1} de N e K, respectivamente.

Ressalta-se que estes resultados não são conclusivos quantos aos efeitos isolados de cada nutriente nem quanto as suas interações. Desta forma, não é possível afirmar que o requerimento nutricional da macaúba por N seja, necessariamente, o

mesmo que por K. Além disso, deve ser considerado o fato que a dinêmica das formas disponíveis desses elementos no solo é diferente, o que também pode influenciar na resposta da planta à adubação (Souza et al., 2012).

Conclusões

A adubação com nitrogênio e potássio promoveu incremento no crescimento das plantas no período avaliado.

Não houve efeito das doses de nitrogênio e potássio aplicadas sobre os componentes da primeira produção, tendo esta característica sido afetada por aspectos relacionados à origem das plantas.

Os acessos de macaúba avaliados apresentam resposta diferenciada com relação as características de crescimento e componentes de produção, sendo que o acesso de Barroso foi superior aos demais, apresentado maior crescimento, número de espatas emitidas e cachos.

Houve redução dos teores foliares de nitrogênio e potássio ao com o crescimento da cultura.

Referências bibliográficas

BARLETO, E. A. **Respostas ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de nutrientes**. 2011. 135f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília/UNB. Brasília, DF.

BREMNER, J. M. Total nitrogen. In: BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, p.1149-1178, 1965.

CORLEY, R. H. V.; GRAY, B. S. Growth and morphology. In: **Oil palm research**. Elsevier, Amsterdam. p. 55-76, 1976.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The oil palm**. Blackwell Science, Oxford, 4 ed., 2003. 608p.

CRUZ, M. C. M.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; SANTOS, D. Teores de carboidratos em limeiras ácidas 'Tahiti' tratadas com paclobutrazol. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 222-226, 2007.

FOALE, M. A. Physiological basis for yield in coconut. In: **Advances in Coconut Research and Development Proc. of Intern**. Sympos., Kasaragod., p. 26–29, 1993.

GONÇALVES, D. A.; SCHWARTZ, G.; POKORNY, B.; ELDIK, T. V. O uso da classificação de copa de Dawkins como indicador do comportamento ecológico de espécies arbóreas tropicais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 1, p. 175-182, 2010.

HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **Field Guide to the Palms of the Americas** New Jersey: Princepton University, 1995. 352p.

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.

LEMOS FILHO, J. P., GOULART, M. F., LOVATO, M. B. Populational approach in ecophysiological studies: the case of *Plathymenia reticulata*, a tree from Cerrado and Atlantic Forest. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, p. 205-216, 2008. http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000300005

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; MEDEIROS-COSTA, J. T.; CERQUEIRA, L. S. C.; BEHR, N. **Palmeiras do Brasil: exóticas e nativas**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1996. 303p.

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

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. 251p

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

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

MARTINS, R.C. **Araceae (Palmae) no Distrito Federal, Brasil**. 2000. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília.

MENGEL, K.; KIRKLY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Berna: Internacional Potash Institute, 1987. 687p.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1023-1031, 2002.

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, 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**. Editora UFV. Viçosa, MG, 2013. 61p.

NOVAES, R. F. **Contribuição para o estudo do coco de macaúba**. 1952. 85f. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP, Piracicaba.

PIMENTEL, L. D. **Nutrição mineral da macaúba: bases para adubação e cultivo**. 2012. 126f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Embrapa Solos, 2ª ed., RJ: 2006. 306p.

SCARIOT, A.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Flowrering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. **Biotropica**, Washington, v. 27, n. 2, p. 168-173, 1995.

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.

SOUZA, T. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; QUAGGIO, J. A.; SALOMÃO, L. C.; FORATO, L. C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 846‑854, 2012. DOI: 10.1590/S0100‑204X2012000600016.

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**. 2009. 137f. Dissertação (Mestrado) – UFG, Goiás.

VIÉGAS, I. J. M. **Crescimento do dendezeiro (*Elaeis guineensis*), concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes de plantas com 2 a 8 anos de idade, cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico Tailândia, Pará.** 1993. Tese (Agricultura) – Esalq, Piracicaba, SP., 217 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. 374p.

CONCLUSÕSES GERAIS

Os teores de nutrientes apresentam ampla variação em relação à distribuição nas folhas do ápice para a base da copa.

O maior acúmulo de nutrientes ocorre nas folhas da porção mediana da copa das plantas de macaúba.

O caule constitui a estrutura de maior acúmulo de matéria seca e nutrientes em plantas de macaúba.

Potássio, cálcio e nitrogênio são os nutrientes mais extraídos, acumulados e exportados pela macaúba.

A adubação com NK promoveu incremento no crescimento das plantas.

Houve redução dos teores foliares de N e K com o crescimento da cultura.

APENDICES

APENDICE A

Tabela 1. Resumo da análise de variância da regressão para os teores e conteúdo de nutrientes no folíolo e na haste foliar de plantas de macaúba.

FV[1]	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Fe	Zn
	----------QMR----------									
Teor no Folíolo										
DR[2]	51,99**	0,68**	12,81**	0,005ns	0,20**	9,61**	166,75*	54,77**	48904,30**	64,39**
IR[3]	1,76	0,0048	0,21	0,094	0,21	0,14	62,17	0,72	403,84	1,77
Modelo	Quad.[4]	Linear	Linear	NA[5]	Linear	Quad.[4]	Cúbico	Linear	Quad.[4]	Cúbico
Teor na haste										
DR[2]	5,06**	0,31**	79,78**	1,12*	1,54**	0,70**	3777,94**	0,99ns	17132,25**	6,94ns
IR[3]	0,12	0,0024	0,93	0,19	0,053	0,062	144,16	1,44	599,9	3,35
Modelo	Cúbico	Cúbico	Linear	Linear	Linear	Cúbico	Cúbico	NA[5]	Linear	NA[5]
Conteúdo no Folíolo										
DR[2]	56,35**	0,11**	3,49**	4,24**	0,29**	4,54**	311,67**	3,40**	18634,27**	5,42*
IR[3]	1,72	0,006	0,16	0,16	0,014	0,07	31,29	0,22	220,91	0,95
Modelo	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]	Cúbico	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]
Conteúdo na haste										
DR[2]	0,98**	0,004º	9,60**	8,19**	1,17**	0,93**	3135,65**	1,87**	8766,45**	23,12**
IR[3]	0,12	0,002	0,47	0,35	0,03	0,04	36,76	0,27	178,74	0,61
Modelo	Quad.[4]	RC[6]	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]	Quad.[4]	Linear	RQ[7]

ns, *, ** = não significativo, significativo a 5 e 1 % pelo teste F.
Dados: 1 = Fonte de variação; 2 = Devido a regressão; 3 = Independente da regressão; 4 = modelo quadrático; 5 = não houve ajuste aos modelos testados; 6 = modelo raiz cúbico; 7 = modelo raiz quadrático.

APENDICE B

Tabela 2. Atributos químicos do LVAa da área experimental cultivada com macaúba no município de Araponga (MG) em diferentes profundidades e épocas de avaliação.

Dose[1]	Prof.[2]	Ano[3]	Bloco	pH	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	$H+Al^{3+}$	SB	CTCt	CTCT	V	m	MO	Prem
				(H_2O)	-------mg dm^{-3}-------		----------cmol$_c$ dm^{-3}----------							----------%----------		dag kg^{-1}	mg L^{-1}
0	0-10	1	1	5,10	3,10	33,00	1,30	0,40	1,40	14,36	1,78	3,18	16,14	11,00	44,00	6,80	6,80
0	0-10	1	2	4,90	2,40	29,00	0,30	0,20	2,00	14,85	0,57	2,57	15,42	4,00	78,00	6,40	4,10
0	0-10	1	3	4,70	2,00	33,00	0,60	0,20	2,00	15,02	0,88	2,88	15,90	6,00	69,00	5,40	7,90
0	0-10	2	1	4,40	4,30	47,00	1,00	0,30	1,50	19,64	1,42	2,92	21,06	7,00	51,00	7,12	4,70
0	0-10	2	2	4,40	4,70	52,00	1,40	0,40	1,50	18,64	1,93	3,43	20,58	9,00	44,00	6,93	5,10
0	0-10	2	1	4,57	3,80	37,00	1,01	0,23	1,54	14,00	1,33	2,87	15,33	8,70	53,70	7,36	8,30
0	0-10	3	2	4,90	8,60	32,00	1,50	0,31	1,25	13,50	1,89	3,14	15,39	12,30	39,80	6,33	6,60
0	0-10	3	3	4,87	5,40	19,00	1,12	0,19	1,35	12,10	1,36	2,71	13,46	10,10	49,80	6,33	5,70
0	0-10	3	3	4,40	4,30	58,00	1,10	0,30	1,50	15,68	1,55	3,05	17,23	9,00	49,00	5,27	7,30
0	10-20	1	1	5,00	2,20	28,00	0,80	0,30	1,50	13,04	1,17	2,67	14,21	8,00	56,00	5,90	6,60
0	10-20	1	2	4,90	1,10	17,00	0,20	0,10	1,40	11,05	0,34	1,74	11,40	3,00	80,00	4,50	3,10
0	10-20	1	3	4,70	1,60	32,00	0,40	0,20	1,70	14,19	0,68	2,38	14,87	5,00	71,00	4,80	6,80
0	10-20	2	1	4,40	2,00	34,00	0,30	0,20	1,30	15,18	0,59	1,89	15,77	4,00	69,00	5,27	3,10
0	10-20	2	2	4,30	2,40	39,00	0,80	0,20	1,30	15,84	1,10	2,40	16,94	6,00	54,00	5,12	2,70
0	10-20	2	3	4,30	2,20	40,00	0,50	0,10	1,50	11,39	0,70	2,20	12,09	6,00	68,00	4,26	4,10
0	10-20	3	1	4,90	4,70	70,00	1,74	0,50	1,40	14,90	2,42	3,82	17,32	14,00	36,60	7,23	7,40
0	10-20	3	2	4,77	3,30	69,00	1,74	0,47	1,40	14,00	2,39	3,79	16,39	14,60	36,90	7,88	7,00
0	10-20	3	3	4,93	1,70	39,00	0,94	0,27	1,10	12,40	1,31	2,41	13,71	9,60	45,60	6,07	5,70

Continua

Continuação

0	20-40	1	1	5,10	1,50	20,00	0,40	0,20	1,10	10,89	0,65	1,75	11,54	6,00	63,00	4,40	5,00
0	20-40	1	2	4,60	2,20	49,00	0,50	0,20	2,40	16,66	0,83	3,23	17,50	5,00	74,00	6,20	4,80
0	20-40	1	3	4,80	1,10	19,00	0,20	0,10	1,20	11,05	0,35	1,55	11,41	3,00	77,00	3,90	6,10
0	20-40	2	1	4,40	1,60	37,00	0,40	0,10	1,30	14,85	0,59	1,89	15,44	4,00	69,00	4,68	2,70
0	20-40	2	2	4,30	2,00	35,00	0,60	0,20	1,30	14,52	0,89	2,19	15,41	6,00	59,00	4,82	2,70
0	20-40	2	3	4,20	1,60	40,00	0,40	0,20	1,50	12,21	0,70	2,20	12,91	5,00	68,00	3,73	4,70
0	20-40	3	1	4,82	16,00	95,00	2,43	0,43	1,25	14,20	3,10	4,35	17,30	17,90	28,70	9,69	7,60
0	20-40	3	2	4,84	9,70	70,00	2,34	0,42	0,96	14,30	2,94	3,90	14,24	17,24	24,60	7,23	6,00
0	20-40	3	3	4,66	5,20	49,00	1,29	0,19	1,90	13,20	1,61	3,51	14,81	10,90	54,10	6,59	7,60
115	0-10	1	1	4,80	6,40	146,00	1,00	0,40	1,40	14,19	1,77	3,17	15,96	11,00	44,00	6,90	5,60
115	0-10	1	2	4,60	1,60	44,00	0,20	0,10	2,00	13,86	0,41	2,41	14,27	3,00	83,00	5,70	3,90
115	0-10	1	3	4,60	3,10	72,00	0,80	0,30	1,70	14,03	1,28	2,98	15,31	8,00	57,00	5,10	11,10
115	0-10	2	1	4,40	7,00	55,00	1,20	0,30	1,20	16,17	1,64	2,84	17,81	9,00	42,00	6,58	4,50
115	0-10	2	2	4,40	4,30	46,00	1,20	0,40	1,50	17,16	1,72	3,22	18,88	9,00	47,00	6,93	5,80
115	0-10	2	3	4,30	4,90	61,00	1,30	0,30	1,50	14,69	1,76	3,26	16,45	11,00	46,00	5,12	9,80
115	0-10	3	1	4,57	4,20	104,00	1,09	0,23	2,02	15,10	1,59	3,61	16,69	9,50	56,00	7,62	8,50
115	0-10	3	2	4,80	7,80	114,00	1,72	0,37	1,16	14,30	2,38	3,54	16,88	14,30	32,80	7,10	7,60
115	0-10	3	3	4,57	3,50	102,00	0,95	0,24	1,35	12,90	1,46	2,81	14,36	10,20	48,00	6,59	5,20
115	10-20	1	1	4,80	4,20	73,00	0,50	0,20	1,40	13,53	0,89	2,29	14,42	6,00	61,00	5,60	3,70
115	10-20	1	2	4,50	1,10	31,00	0,20	0,10	1,40	12,05	0,38	1,78	12,43	3,00	79,00	4,70	3,50
115	10-20	1	3	4,50	2,00	53,00	0,40	0,20	2,00	14,03	0,74	2,74	14,77	5,00	73,00	5,00	6,60
115	10-20	2	1	4,50	2,20	35,00	0,60	0,20	1,20	14,19	0,89	2,09	15,08	6,00	57,00	4,97	2,70
115	10-20	2	2	4,30	2,20	33,00	0,50	0,20	1,30	15,68	0,78	2,08	16,46	5,00	63,00	5,27	3,10
115	10-20	2	3	4,10	2,20	48,00	0,50	0,10	1,50	11,71	0,72	2,22	12,44	6,00	68,00	4,26	4,10
115	10-20	3	1	4,75	2,80	39,00	0,91	0,18	1,83	13,50	1,19	3,02	14,69	8,10	60,40	7,10	5,80
115	10-20	3	2	4,53	6,20	113,00	1,18	0,28	2,12	13,70	1,75	3,87	15,45	11,30	54,80	6,20	5,20
115	10-20	3	3	4,40	2,90	82,00	0,63	0,15	1,83	12,40	0,99	2,82	13,39	7,40	64,90	5,81	3,80

Continua

Continuação

115	20-40	1	1	4,70	2,40	60,00	0,50	0,20	1,00	10,89	0,85	1,85	11,74	7,00	54,00	4,80	2,90
115	20-40	1	2	4,50	3,50	101,00	0,70	0,40	2,00	18,15	1,36	3,36	19,51	7,00	60,00	7,30	5,90
115	20-40	1	3	4,40	1,30	50,00	0,20	0,10	1,70	12,71	0,43	2,13	13,14	3,00	80,00	4,30	6,10
115	20-40	2	1	4,40	2,40	35,00	0,80	0,20	1,10	13,86	1,09	2,19	14,95	7,00	50,00	4,82	2,30
115	20-40	2	2	4,50	2,20	29,00	0,50	0,20	1,20	15,51	0,77	1,97	16,28	5,00	61,00	4,68	3,10
115	20-40	2	3	4,20	2,40	37,00	0,80	0,20	1,80	12,04	1,09	2,89	13,14	8,00	62,00	4,26	4,50
115	20-40	3	1	5,05	3,90	29,00	2,45	0,47	1,40	13,90	2,99	4,39	16,89	17,70	31,90	8,27	7,10
115	20-40	3	2	5,08	2,60	18,00	2,03	0,37	0,90	10,70	2,45	3,35	13,15	18,60	26,90	5,43	7,00
115	20-40	3	3	5,70	4,90	27,00	2,86	0,57	0,60	11,60	3,50	4,10	15,10	23,20	14,60	7,10	6,90
230	0-10	1	1	4,50	3,90	129,00	0,60	0,20	2,00	16,50	1,13	3,13	17,63	6,00	64,00	7,50	6,10
230	0-10	1	2	4,40	2,20	76,00	0,30	0,20	1,70	15,02	0,69	2,39	15,71	4,00	71,00	6,40	3,90
230	0-10	1	3	4,60	2,60	80,00	0,80	0,40	2,00	15,68	1,40	3,40	17,08	8,00	59,00	5,40	6,80
230	0-10	2	1	4,70	5,10	100,00	1,50	0,40	1,00	13,53	2,16	3,16	15,69	14,00	32,00	6,58	4,90
230	0-10	2	2	4,50	4,90	76,00	1,20	0,40	1,50	15,84	1,79	3,29	17,63	10,00	46,00	6,93	4,90
230	0-10	2	3	4,50	3,50	66,00	1,10	0,40	1,20	15,34	1,67	2,87	17,02	10,00	42,00	5,74	10,10
230	0-10	3	1	4,93	7,10	56,00	2,06	0,29	1,30	14,20	2,49	3,79	16,69	14,90	34,30	7,49	6,90
230	0-10	3	2	4,57	3,50	48,00	0,92	0,17	1,60	12,00	1,21	2,81	13,21	9,20	56,90	5,30	5,90
230	0-10	3	3	4,79	9,80	69,00	2,04	0,33	1,60	12,20	2,55	4,15	14,75	17,30	38,60	7,10	5,90
230	10-20	1	1	4,40	2,90	110,00	0,40	0,20	2,00	15,02	0,88	2,88	15,90	6,00	69,00	6,10	3,30
230	10-20	1	2	4,20	1,80	84,00	0,20	0,10	1,70	12,71	0,51	2,21	13,22	4,00	77,00	4,40	2,60
230	10-20	1	3	4,40	1,60	71,00	0,30	0,20	2,00	14,03	0,68	2,68	14,71	5,00	75,00	5,00	5,40
230	10-20	2	1	4,30	2,20	70,00	0,70	0,20	1,40	15,84	1,08	2,48	16,92	6,00	56,00	5,27	2,90
230	10-20	2	2	4,30	2,00	85,00	0,40	0,20	1,50	15,84	0,82	2,32	16,66	5,00	65,00	5,12	2,90
230	10-20	2	3	4,40	2,00	46,00	0,40	0,20	1,50	12,04	0,72	2,22	12,77	6,00	68,00	4,82	4,90
230	10-20	3	1	4,70	4,20	114,00	1,62	0,36	1,90	16,20	2,27	4,17	18,47	12,30	45,60	7,62	6,50
230	10-20	3	2	4,56	4,60	110,00	1,50	0,34	1,60	15,30	2,12	3,72	17,42	12,20	43,00	7,75	6,30
230	10-20	3	3	4,27	2,00	75,00	0,84	0,17	2,30	12,40	1,20	3,50	13,60	8,80	65,70	5,68	6,00

Continua

Continuação

230	20-40	1	1	4,20	1,30	103,00	0,20	0,10	1,70	12,05	0,56	2,26	12,61	4,00	75,00	5,10	3,30
230	20-40	1	2	4,30	3,70	125,00	0,50	0,20	2,40	19,30	1,02	3,42	20,33	5,00	70,00	7,30	4,80
230	20-40	1	3	4,30	1,30	82,00	0,30	0,20	1,50	12,71	0,71	2,21	13,42	5,00	68,00	4,40	4,50
230	20-40	2	1	4,40	2,20	81,00	0,60	0,20	1,20	14,52	1,01	2,21	15,53	7,00	54,00	4,54	2,10
230	20-40	2	2	4,40	2,20	72,00	0,60	0,20	1,30	12,38	0,98	2,28	13,36	7,00	57,00	4,82	2,30
230	20-40	2	3	4,30	1,80	40,00	0,30	0,20	1,40	13,69	0,60	2,00	14,29	4,00	70,00	3,99	4,30
230	20-40	3	1	4,47	5,10	111,00	1,02	0,20	2,40	16,80	1,50	3,90	18,30	8,20	61,50	7,75	6,50
230	20-40	3	2	4,42	4,90	146,00	1,23	0,24	1,90	16,50	1,84	3,74	18,35	10,00	50,80	8,01	6,30
230	20-40	3	3	4,28	1,60	97,00	0,65	0,12	1,50	12,40	1,02	2,52	13,42	7,60	59,50	5,68	5,90
346	0-10	1	1	4,60	2,90	96,00	0,60	0,30	2,10	15,68	1,15	3,25	16,83	7,00	65,00	7,50	6,60
346	0-10	1	2	4,20	2,60	127,00	0,30	0,20	2,00	17,16	0,82	2,82	17,98	5,00	71,00	6,40	3,90
346	0-10	1	3	4,70	3,70	115,00	1,10	0,50	1,50	14,19	1,89	3,39	16,08	12,00	44,00	4,00	7,30
346	0-10	2	1	4,40	4,10	71,00	1,50	0,40	1,40	15,84	2,08	3,48	17,92	12,00	40,00	6,23	6,30
346	0-10	2	2	4,40	5,80	91,00	1,30	0,30	1,50	19,14	1,83	3,33	20,97	9,00	45,00	6,58	4,10
346	0-10	2	3	4,50	6,00	98,00	1,30	0,40	1,20	15,18	1,95	3,15	17,13	11,00	38,00	5,27	8,30
346	0-10	3	1	4,69	2,00	75,00	1,20	0,29	2,00	16,20	1,68	3,68	17,88	9,40	54,30	7,36	7,50
346	0-10	3	2	4,64	10,70	102,00	1,36	0,30	1,60	15,50	1,92	3,52	17,42	11,00	45,50	7,62	7,20
346	0-10	3	3	4,44	2,20	82,00	0,61	0,15	1,60	11,10	0,97	2,57	12,07	8,00	62,30	5,43	5,90
346	10-20	1	1	4,50	2,20	111,00	0,30	0,10	2,00	13,04	0,68	2,68	13,72	5,00	75,00	6,20	4,30
346	10-20	1	2	4,10	1,10	95,00	0,10	0,10	1,50	12,87	0,44	1,94	13,31	3,00	77,00	5,00	2,70
346	10-20	1	3	4,50	2,20	93,00	0,50	0,30	1,70	15,51	1,04	2,74	16,55	6,00	62,00	5,40	6,30
346	10-20	2	1	4,20	2,20	72,00	0,50	0,10	1,50	14,19	0,78	2,28	14,97	5,00	66,00	4,68	2,50
346	10-20	2	2	4,30	2,50	100,00	0,50	0,10	1,50	14,52	0,86	2,36	15,38	6,00	64,00	5,12	2,50
346	10-20	2	3	4,20	2,20	74,00	0,50	0,20	1,50	12,87	0,89	2,39	13,76	6,00	63,00	4,54	4,50
346	10-20	3	1	4,60	1,50	31,00	0,72	0,18	1,90	13,20	0,98	2,88	14,18	6,90	66,00	5,30	8,60
346	10-20	3	2	4,47	2,20	32,00	1,12	0,25	1,90	12,40	1,45	3,35	13,85	10,50	56,70	5,04	9,50
346	10-20	3	3	4,77	1,10	17,00	0,75	0,18	1,80	10,70	0,97	2,77	11,67	8,30	65,00	3,88	9,10

Continua

Continuação

346	20-40	1	1	4,20	0,90	95,00	0,20	0,10	1,50	11,88	0,54	2,04	12,42	4,00	74,00	5,00	3,30
346	20-40	1	2	4,40	4,80	129,00	0,60	0,20	2,20	17,66	1,13	3,33	18,79	6,00	66,00	6,90	5,90
346	20-40	1	3	4,20	1,30	101,00	0,20	0,10	1,50	11,71	0,56	2,06	12,28	5,00	73,00	3,90	4,30
346	20-40	2	1	4,20	2,20	64,00	0,50	0,20	1,50	14,52	0,86	2,36	15,38	6,00	64,00	4,68	3,10
346	20-40	2	2	4,20	2,40	70,00	0,50	0,10	1,30	10,89	0,78	2,08	11,67	7,00	63,00	4,54	2,50
346	20-40	2	3	4,30	1,60	35,00	0,40	0,20	1,30	12,04	0,69	1,99	12,74	5,00	65,00	3,86	4,50
346	20-40	3	1	4,25	2,50	50,00	1,21	0,29	2,20	15,30	1,63	3,83	16,93	9,60	57,40	5,81	8,60
346	20-40	3	2	4,64	3,20	57,00	1,15	0,30	2,30	13,90	1,60	3,90	15,50	10,30	59,00	4,78	9,00
346	20-40	3	3	4,57	1,50	97,00	0,61	0,12	1,20	10,40	0,98	2,18	11,38	8,60	55,00	3,49	7,20
461	0-10	1	1	4,60	2,90	112,00	0,80	0,30	2,00	15,68	1,39	3,39	17,07	8,00	59,00	6,20	8,70
461	0-10	1	2	4,40	2,70	110,00	0,30	0,10	1,70	14,52	0,68	2,38	15,20	4,00	71,00	5,40	4,50
461	0-10	1	3	4,80	9,40	230,00	0,90	0,30	1,50	14,03	1,79	3,29	15,82	11,00	46,00	5,60	8,40
461	0-10	2	1	4,80	5,10	160,00	1,70	0,50	0,80	15,02	2,61	3,41	17,63	15,00	23,00	5,90	7,50
461	0-10	2	2	4,60	4,50	80,00	1,10	0,30	1,40	16,83	1,60	3,00	18,43	9,00	47,00	5,74	4,90
461	0-10	2	3	4,40	4,90	58,00	1,20	0,30	1,50	12,54	1,65	3,15	14,19	12,00	48,00	5,12	6,10
461	0-10	3	1	4,82	3,60	186,00	1,64	0,34	1,10	13,50	2,46	3,56	15,96	15,40	30,90	5,81	9,80
461	0-10	3	2	4,64	5,60	137,00	2,03	0,43	1,60	12,40	2,81	4,41	15,21	18,50	36,30	4,91	9,40
461	0-10	3	3	4,50	1,90	82,00	0,85	0,19	1,60	10,70	1,25	2,85	11,95	10,50	56,10	4,00	7,00
461	10-20	1	1	4,50	1,80	113,00	0,50	0,20	1,80	14,19	0,99	2,79	15,18	7,00	65,00	5,90	5,00
461	10-20	1	2	4,20	2,00	125,00	0,20	0,10	1,70	15,02	0,62	2,32	15,64	4,00	73,00	5,10	4,30
461	10-20	1	3	4,50	2,20	156,00	0,30	0,20	2,00	14,69	0,90	2,90	15,59	6,00	69,00	4,70	6,10
461	10-20	2	1	4,40	2,20	74,00	0,70	0,20	1,50	14,52	1,09	2,59	15,61	7,00	58,00	4,68	3,70
461	10-20	2	2	4,40	2,20	63,00	0,50	0,20	1,50	15,18	0,86	2,36	16,04	5,00	64,00	4,97	2,70
461	10-20	2	3	4,40	2,20	62,00	0,50	0,20	1,50	13,86	0,86	2,36	14,72	6,00	64,00	4,54	4,30
461	10-20	3	1	4,50	2,50	61,00	0,96	0,19	1,90	13,50	1,31	3,21	14,81	8,80	59,20	5,30	9,40
461	10-20	3	2	4,68	7,80	107,00	1,73	0,34	1,60	12,50	2,34	3,94	14,84	15,80	40,60	5,17	7,90
461	10-20	3	3	4,56	3,10	58,00	0,88	0,15	1,60	12,00	1,18	2,78	13,18	9,00	57,60	4,26	7,30

Continua

Continuação

461	20-40	1	1	4,50	1,10	120,00	0,20	0,10	1,40	11,39	0,61	2,01	12,00	5,00	70,00	5,00	4,30
461	20-40	1	2	4,80	9,40	230,00	0,90	0,30	1,50	14,03	1,79	3,29	15,82	11,00	46,00	5,60	8,40
461	20-40	1	3	4,20	1,80	132,00	0,20	0,10	1,50	11,39	0,64	2,14	12,03	5,00	70,00	3,90	4,50
461	20-40	2	1	4,30	1,60	73,00	0,50	0,10	1,40	15,02	0,79	2,19	15,81	5,00	64,00	4,82	2,90
461	20-40	2	2	4,30	2,40	57,00	0,60	0,20	1,40	15,18	0,95	2,35	16,13	6,00	60,00	4,54	2,30
461	20-40	2	3	4,40	1,80	43,00	0,50	0,20	1,50	12,54	0,81	2,31	13,35	6,00	65,00	3,99	4,30
461	20-40	3	1	4,67	2,30	75,00	1,24	0,36	1,70	14,50	1,79	3,49	16,29	11,00	48,70	5,68	8,60
461	20-40	3	2	4,60	2,00	92,00	1,16	0,35	1,70	14,00	1,75	3,45	15,75	11,00	49,30	5,43	7,00
461	20-40	3	3	4,31	0,90	45,00	0,44	0,15	1,30	9,90	0,71	2,01	10,61	6,70	64,70	3,36	8,30

Dados: 1 = dose de NK (g/planta); 2 = profundidade de amostragem (cm); 3 = ano de avaliação onde, 1 = 2012, 2 = 2013 e 3 = 2014;

APENDICE C

Tabela 3 – Teores foliolares de macro e micronutrientes em plantas de macaúba no município de Araponga (MG) provenientes de diferentes regiões e em diferentes épocas de avaliação.

Dose	Acesso	Ano	Bloco	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Zn	Fe	Mn	Cu	B
				----------g kg^{-1}----------							----------mg kg^{-1}----------				
0	1	1	1	29,90	1,80	10,40	7,30	2,60	3,80	2,00	22,00	140,00	24,00	6,00	38,20
0	1	1	2	30,20	1,70	6,80	10,80	3,10	5,20	2,00	20,00	125,00	39,00	5,00	39,90
0	1	1	3	27,10	1,70	8,40	9,80	4,10	4,20	2,00	22,00	147,00	54,00	5,00	80,60
0	1	2	1	26,80	1,90	9,60	8,60	2,20	3,70	1,00	17,00	275,00	40,00	5,00	31,50
0	1	2	2	18,50	1,50	5,20	6,90	2,10	3,70	2,00	14,00	125,00	61,00	4,00	37,00
0	1	2	3	21,90	1,40	10,40	3,20	1,30	2,40	1,00	16,00	125,00	65,00	5,00	24,70
0	1	3	1	16,43	1,46	5,58	14,68	6,05	1,64	11,00	18,82	154,84	31,86	5,88	50,75
0	1	3	2	17,42	1,48	5,03	14,16	6,68	1,93	7,00	16,63	130,76	30,13	4,59	64,12
0	1	3	3	17,09	1,37	7,26	13,14	6,57	1,78	8,00	17,47	154,84	26,38	4,20	130,04
0	1	4	1	14,90	1,11	5,50	6,14	2,14	3,01	10,00	14,65	113,95	28,80	4,75	63,96
0	1	4	2	19,66	1,12	4,25	6,54	2,15	0,50	8,00	17,60	147,65	29,45	4,65	49,44
0	1	4	3	15,53	1,08	8,25	4,17	1,79	0,29	8,00	13,15	114,85	27,30	4,10	79,92
0	2	1	1	29,60	2,20	7,20	18,30	3,30	6,00	4,00	15,00	164,00	47,00	4,00	183,20
0	2	1	2	29,60	1,70	6,80	10,50	3,10	4,90	2,00	15,00	113,00	58,00	4,00	36,60
0	2	1	3	28,00	1,50	8,00	9,50	3,40	4,70	3,00	15,00	139,00	47,00	6,00	26,50
0	2	2	1	27,70	1,80	4,80	11,70	3,50	5,50	1,00	14,00	218,00	85,00	3,00	37,00
0	2	2	2	22,20	1,50	6,40	6,00	2,10	3,10	1,00	11,00	127,00	72,00	3,00	23,10
0	2	2	3	27,70	1,60	10,00	3,50	1,40	2,10	1,00	12,00	178,00	43,00	3,00	24,70
0	2	3	1	20,05	1,60	4,75	16,65	8,32	2,22	10,00	22,06	122,25	47,26	4,42	76,07

Continua

Continuação

0	2	3	2	17,09	1,52	5,58	14,27	7,06	1,43	7,00	48,27	145,04	45,92	4,14	52,38
0	2	3	3	18,40	1,48	8,10	13,11	6,58	1,70	5,00	18,14	164,98	37,86	4,48	86,74
0	2	4	1	13,32	1,14	3,25	9,32	3,33	1,04	12,00	14,10	171,05	36,90	3,65	64,44
0	2	4	2	14,27	1,29	5,00	5,98	1,91	0,38	8,00	14,40	147,50	30,15	4,75	13,80
0	2	4	3	13,95	1,29	7,25	4,10	2,03	0,41	6,00	14,70	190,60	26,85	4,60	49,20
0	3	1	1	23,70	1,50	6,80	9,10	2,70	3,80	3,00	16,00	119,00	33,00	3,00	41,50
0	3	1	2	27,10	1,50	9,20	5,60	2,60	4,10	2,00	13,00	110,00	35,00	4,00	17,90
0	3	1	3	29,90	1,60	8,40	9,20	3,00	3,60	2,00	16,00	238,00	43,00	4,00	22,70
0	3	2	1	23,70	1,60	4,40	8,50	2,80	3,60	1,00	17,00	210,00	61,00	5,00	37,00
0	3	2	2	22,50	1,40	8,80	4,60	2,10	3,10	2,00	14,00	91,00	50,00	5,00	17,00
0	3	2	3	28,00	1,60	11,60	3,80	1,60	2,50	1,00	19,00	132,00	46,00	4,00	12,70
0	3	3	1	19,39	1,58	6,14	12,87	7,82	1,52	10,00	17,75	135,63	50,29	7,11	52,05
0	3	3	2	18,73	1,47	5,03	15,86	6,81	2,21	7,00	22,90	141,96	41,89	5,26	52,71
0	3	3	3	16,76	1,49	7,54	12,04	6,15	1,84	8,00	24,42	141,51	43,40	5,60	62,07
0	3	4	1	14,90	1,12	2,75	6,56	2,69	0,64	11,00	14,40	172,20	26,30	5,90	15,96
0	3	4	2	14,90	1,18	5,25	4,67	2,25	0,41	7,00	11,30	218,45	21,75	5,10	51,36
0	3	4	3	15,53	1,13	4,25	4,06	1,83	0,26	7,00	15,15	196,00	34,45	5,00	18,84
115	1	1	1	24,00	1,60	8,40	12,00	1,70	2,60	5,00	15,00	155,00	29,00	4,00	108,70
115	1	1	2	29,90	2,00	12,00	7,80	1,50	3,30	1,00	16,00	158,00	45,00	5,00	32,10
115	1	1	3	29,00	1,60	14,40	4,50	1,90	2,40	2,00	20,00	315,00	59,00	6,00	91,10
115	1	2	1	24,30	1,50	10,40	5,80	2,20	3,20	1,00	14,00	251,00	50,00	4,00	23,10
115	1	2	2	24,00	1,40	9,20	5,70	1,20	2,90	2,00	13,00	128,00	61,00	3,00	29,80
115	1	2	3	22,20	1,50	11,20	3,40	1,30	2,30	1,00	14,00	226,00	58,00	2,00	26,40
115	1	3	1	17,75	1,41	7,82	14,05	6,22	1,54	7,00	24,58	125,83	54,60	5,82	80,07
115	1	3	2	22,67	1,45	6,14	12,67	6,36	1,79	5,00	18,59	118,66	34,89	5,21	78,24
115	1	3	3	17,75	1,56	6,70	13,40	7,13	1,58	7,00	16,69	143,64	36,79	5,15	104,22
115	1	4	1	16,49	1,22	7,50	6,64	2,06	0,82	6,00	18,85	145,90	17,45	4,90	54,00

Continua

Continuação

115	1	4	2	16,17	1,02	4,00	5,69	1,75	1,06	7,00	21,30	163,20	25,95	4,55	49,08
115	1	4	3	19,34	0,99	3,50	6,32	1,93	0,56	9,00	17,05	159,55	26,35	9,20	88,56
115	2	1	1	25,30	1,70	8,00	12,20	2,60	4,50	5,00	11,00	144,00	52,00	3,00	63,80
115	2	1	2	28,30	1,70	10,00	6,20	2,70	3,60	4,00	13,00	121,00	26,00	5,00	29,30
115	2	1	3	32,30	2,00	12,00	9,50	2,10	3,20	5,00	10,00	142,00	28,00	4,00	103,80
115	2	2	1	23,10	1,50	8,40	6,90	1,80	2,60	1,00	9,00	234,00	36,00	2,00	35,10
115	2	2	2	25,60	1,60	8,80	3,70	2,00	2,30	1,00	13,00	120,00	42,00	4,00	20,00
115	2	2	3	28,00	1,60	12,40	3,40	1,30	2,40	1,00	11,00	259,00	49,00	4,00	20,00
115	2	3	1	17,75	1,42	8,10	12,03	7,29	1,63	10,00	15,68	141,96	31,30	5,26	70,38
115	2	3	2	15,77	1,42	5,30	15,14	6,36	2,04	9,00	25,48	145,60	37,35	5,43	55,68
115	2	3	3	17,09	1,50	6,98	14,47	6,22	2,08	9,00	24,92	158,82	43,34	7,17	71,08
115	2	4	1	15,22	1,27	5,00	5,67	2,86	0,84	8,00	12,95	161,95	25,50	4,75	13,44
115	2	4	2	16,17	1,25	5,50	3,97	2,14	1,35	9,00	17,55	161,90	19,60	6,60	25,92
115	2	4	3	11,73	0,98	2,50	6,48	2,16	0,73	6,00	11,90	223,20	28,65	3,25	19,32
115	3	1	1	29,00	1,70	10,00	7,70	2,50	3,00	3,00	14,00	121,00	24,00	4,00	43,30
115	3	1	2	26,80	1,60	11,60	5,50	1,60	2,40	4,00	11,00	87,00	35,00	6,00	16,70
115	3	1	3	29,30	1,70	10,80	8,10	2,60	2,90	5,00	14,00	190,00	27,00	4,00	61,40
115	3	2	1	27,10	1,60	10,80	7,70	1,10	3,20	2,00	13,00	226,00	33,00	4,00	53,80
115	3	2	2	23,10	1,40	11,20	4,00	1,40	2,70	1,00	15,00	117,00	78,00	4,00	18,50
115	3	2	3	27,10	1,60	10,40	3,10	1,50	2,70	1,00	13,00	267,00	47,00	4,00	18,50
115	3	3	1	17,09	1,34	7,82	14,57	7,02	2,08	8,00	23,91	117,82	46,59	5,66	65,15
115	3	3	2	19,39	1,62	6,98	11,14	7,01	1,54	7,00	17,08	135,18	28,62	4,98	71,79
115	3	3	3	19,06	1,60	6,98	13,04	7,15	1,89	9,00	19,15	141,12	35,84	4,76	80,07
115	3	4	1	14,58	1,13	5,75	5,57	2,61	0,70	12,00	11,40	168,65	20,05	3,70	17,52
115	3	4	2	14,27	1,54	7,00	4,73	1,80	0,47	11,00	14,05	158,35	28,65	4,85	52,08
115	3	4	3	24,30	1,06	5,50	5,52	2,03	0,50	10,00	23,60	255,15	24,50	3,90	54,12
230	1	1	1	25,90	1,70	10,40	5,70	1,50	2,60	3,00	13,00	145,00	21,00	4,00	23,90

Continua

Continuação

230	1	1	2	30,80	1,70	12,40	7,40	1,70	2,70	3,00	13,00	124,00	24,00	4,00	26,50
230	1	1	3	28,30	1,70	12,40	6,30	1,50	2,90	3,00	11,00	153,00	18,00	4,00	36,60
230	1	2	1	22,80	1,30	10,80	3,90	1,10	2,40	1,00	16,00	122,00	58,00	4,00	21,60
230	1	2	2	21,60	1,30	9,60	4,10	1,50	2,60	1,00	12,00	133,00	33,00	3,00	26,40
230	1	2	3	23,10	1,20	10,40	3,70	1,20	2,30	1,00	13,00	202,00	47,00	3,00	21,60
230	1	3	1	19,06	1,45	6,98	13,19	6,93	2,15	8,00	23,69	126,73	43,23	19,54	69,33
230	1	3	2	19,72	1,45	7,54	12,54	7,42	1,89	7,00	23,46	145,60	23,97	7,62	68,98
230	1	3	3	17,42	1,44	7,54	12,76	6,76	2,17	5,00	19,60	114,18	34,78	5,88	58,69
230	1	4	1	18,07	1,22	7,50	4,90	1,70	0,62	10,00	13,30	170,25	21,60	6,75	28,56
230	1	4	2	14,58	1,14	7,25	4,03	1,80	0,56	8,00	17,90	117,35	18,50	6,20	53,52
230	1	4	3	17,12	1,13	2,75	9,64	3,29	0,98	6,00	16,40	186,50	33,70	4,10	40,68
230	2	1	1	31,10	1,80	12,00	8,00	1,40	2,60	5,00	11,00	136,00	33,00	4,00	36,60
230	2	1	2	33,60	2,10	12,80	8,30	1,50	2,50	2,00	11,00	122,00	21,00	3,00	83,90
230	2	1	3	33,00	1,90	11,20	7,60	2,00	2,70	6,00	10,00	138,00	26,00	4,00	26,50
230	2	2	1	25,90	1,60	14,00	5,20	1,60	2,60	1,00	11,00	194,00	81,00	5,00	15,50
230	2	2	2	27,40	1,70	10,40	4,90	1,20	3,50	2,00	10,00	123,00	43,00	5,00	20,00
230	2	2	3	26,50	1,60	9,60	4,10	1,50	3,20	1,00	11,00	242,00	56,00	5,00	15,50
230	2	3	1	17,42	1,46	7,82	12,60	6,52	1,92	6,00	17,58	126,28	35,90	6,50	53,04
230	2	3	2	17,09	1,47	6,70	12,04	6,79	1,76	7,00	22,46	141,96	36,12	5,04	53,69
230	2	3	3	17,09	1,56	7,26	13,11	7,01	2,25	7,00	17,47	122,53	33,71	5,77	62,07
230	2	4	1	15,85	1,19	6,75	7,58	2,19	0,93	11,00	12,85	151,95	29,45	4,25	16,44
230	2	4	2	16,17	1,28	6,00	2,87	1,81	0,32	8,00	22,30	126,80	25,50	8,55	18,12
230	2	4	3	17,75	1,07	4,75	5,65	2,11	0,79	7,00	16,60	170,60	24,55	7,45	30,12
230	3	1	1	30,50	1,80	10,40	8,20	1,70	2,00	6,00	12,00	147,00	39,00	4,00	39,90
230	3	1	2	28,30	1,30	8,80	7,80	1,50	2,60	4,00	11,00	145,00	39,00	4,00	35,10
230	3	1	3	31,10	1,70	12,40	6,10	1,90	3,40	5,00	11,00	132,00	32,00	5,00	50,70
230	3	2	1	25,60	1,50	13,60	3,00	1,50	2,80	1,00	11,00	136,00	46,00	4,00	20,00

Continua

Continuação

230	3	2	2	24,30	1,30	9,20	4,50	1,40	2,90	1,00	15,00	113,00	73,00	5,00	23,10
230	3	2	3	24,60	1,60	10,40	3,40	1,50	2,80	1,00	15,00	210,00	55,00	5,00	21,60
230	3	3	1	11,83	1,29	6,70	13,96	5,83	1,79	10,00	36,62	129,98	37,58	1,18	65,50
230	3	3	2	18,07	1,49	7,54	12,68	6,78	1,67	11,00	18,65	122,92	35,56	5,77	64,81
230	3	3	3	15,12	1,42	3,63	15,14	7,03	1,69	9,00	17,75	124,88	41,22	3,86	54,68
230	3	4	1	15,53	1,08	8,25	5,26	1,89	1,12	5,00	15,25	147,35	26,40	3,70	49,44
230	3	4	2	16,80	1,20	6,25	4,75	1,55	0,38	9,00	13,25	171,10	25,40	4,40	46,92
230	3	4	3	29,00	1,09	2,25	8,96	3,78	1,12	9,00	16,40	209,95	38,95	3,90	31,92
346	1	1	1	24,90	1,30	12,00	5,30	1,40	2,20	4,00	11,00	104,00	24,00	3,00	11,30
346	1	1	2	30,20	1,70	11,60	5,60	1,20	1,70	2,00	12,00	136,00	25,00	3,00	41,50
346	1	1	3	30,20	1,60	13,20	5,00	1,80	1,70	1,00	14,00	129,00	26,00	5,00	41,50
346	1	2	1	24,90	1,40	10,40	4,60	1,30	2,80	1,00	14,00	234,00	50,00	2,00	20,00
346	1	2	2	26,20	1,40	10,40	4,00	0,90	2,10	1,00	11,00	109,00	52,00	5,00	29,80
346	1	2	3	19,10	1,40	11,20	4,90	1,10	2,70	1,00	15,00	259,00	112,00	4,00	38,90
346	1	3	1	17,09	1,33	6,14	13,88	7,07	1,92	8,00	18,09	132,50	39,37	4,76	60,03
346	1	3	2	19,72	1,53	8,10	13,34	6,34	2,17	9,00	16,74	160,05	40,15	4,59	76,44
346	1	3	3	17,75	1,53	4,47	17,45	6,16	3,19	9,00	16,97	153,50	44,13	5,77	70,73
346	1	4	1	14,90	1,11	7,00	5,09	1,63	0,41	10,00	14,95	130,45	28,30	4,65	44,76
346	1	4	2	16,49	1,01	7,25	4,55	1,49	0,41	7,00	15,55	171,60	26,10	4,15	41,52
346	1	4	3	16,49	1,18	7,25	3,68	1,61	0,44	8,00	15,35	143,90	27,25	5,20	23,40
346	2	1	1	29,60	1,70	13,20	4,80	1,30	2,50	5,00	10,00	126,00	35,00	4,00	20,20
346	2	1	2	27,70	1,70	12,80	6,40	1,30	2,70	4,00	11,00	119,00	26,00	3,00	83,90
346	2	1	3	28,30	1,70	14,80	5,10	1,60	2,30	2,00	11,00	162,00	24,00	4,00	25,20
346	2	2	1	25,90	1,30	10,40	5,10	1,40	3,60	1,00	12,00	202,00	61,00	3,00	20,00
346	2	2	2	25,60	1,30	10,00	4,00	1,20	2,30	1,00	10,00	110,00	46,00	3,00	24,70
346	2	2	3	21,30	1,50	10,00	6,80	1,50	3,10	1,00	8,00	283,00	64,00	2,00	24,70
346	2	3	1	16,76	1,43	7,26	14,72	7,84	2,85	10,00	30,63	147,67	42,22	5,99	46,55

Continua

Continuação

346	2	3	2	18,07	1,46	7,26	15,76	6,97	2,24	9,00	24,81	129,98	45,92	5,38	59,70
346	2	3	3	16,76	1,48	5,30	16,69	6,89	3,04	7,00	22,90	139,72	49,56	6,72	61,39
346	2	4	1	17,12	1,23	6,75	4,61	1,89	0,38	10,00	12,50	151,80	31,40	6,75	8,28
346	2	4	2	15,22	1,14	7,25	4,98	1,76	0,53	7,00	16,65	194,65	24,75	4,40	19,92
346	2	4	3	16,49	1,19	7,00	4,39	2,00	0,29	8,00	14,45	157,10	36,50	4,65	14,04
346	3	1	1	27,70	1,50	12,80	4,00	1,40	2,90	5,00	10,00	97,00	25,00	4,00	22,70
346	3	1	2	35,40	1,70	16,40	7,60	1,80	2,10	5,00	11,00	133,00	25,00	5,00	95,10
346	3	1	3	28,30	1,60	11,60	5,10	1,60	2,30	2,00	10,00	154,00	25,00	4,00	50,70
346	3	2	1	26,20	1,60	10,40	5,50	1,40	3,10	1,00	11,00	251,00	52,00	3,00	21,60
346	3	2	2	27,70	1,60	13,20	4,60	1,10	2,50	1,00	12,00	131,00	48,00	4,00	53,80
346	3	2	3	23,70	1,50	9,20	7,10	1,50	3,80	1,00	12,00	251,00	45,00	3,00	20,00
346	3	3	1	19,06	1,27	6,70	13,76	5,43	2,22	11,00	19,15	126,73	31,14	5,66	49,77
346	3	3	2	16,43	1,39	6,70	12,36	5,64	1,64	10,00	19,94	128,02	34,55	4,59	72,15
346	3	3	3	18,40	1,52	5,86	14,31	7,28	2,56	6,00	19,04	118,55	41,89	4,26	68,28
346	3	4	1	12,68	1,28	9,00	4,50	1,95	0,90	12,00	12,75	144,80	29,80	6,40	33,72
346	3	4	2	18,70	1,26	9,00	5,41	2,13	0,50	13,00	12,50	178,20	26,60	4,20	36,60
346	3	4	3	18,39	1,29	6,75	3,64	1,66	0,41	7,00	12,90	133,75	23,55	5,70	31,80
461	1	1	1	25,90	1,50	13,20	4,00	1,40	2,20	3,00	13,00	110,00	19,00	4,00	17,90
461	1	1	2	32,30	1,50	13,20	5,80	1,30	2,30	3,00	12,00	140,00	33,00	4,00	95,10
461	1	1	3	29,00	1,80	13,60	4,50	1,40	2,20	2,00	11,00	141,00	30,00	4,00	43,30
461	1	2	1	27,10	1,60	10,80	7,70	1,10	3,20	2,00	13,00	226,00	33,00	4,00	53,80
461	1	2	2	24,00	1,30	12,00	3,70	1,00	2,50	1,00	16,00	131,00	48,00	7,00	35,10
461	1	2	3	21,30	1,50	8,00	6,20	2,60	3,20	1,00	24,00	226,00	59,00	3,00	29,80
461	1	3	1	18,40	1,48	6,42	14,91	7,73	2,73	11,00	18,98	145,04	25,87	5,32	52,38
461	1	3	2	16,10	1,28	6,42	12,23	6,13	1,30	8,00	15,46	112,84	21,90	3,86	76,07
461	1	3	3	17,09	1,43	4,75	14,57	5,80	2,10	11,00	38,14	156,13	40,38	4,48	78,61
461	1	4	1	16,49	0,99	7,00	3,68	1,66	0,41	7,00	14,95	136,40	31,65	4,15	32,88

Continua

Continuação

461	1	4	2	15,53	1,12	7,25	4,28	1,73	0,62	8,00	16,90	187,25	29,05	4,60	36,60
461	1	4	3	15,53	1,19	6,75	3,33	1,71	0,32	5,00	14,15	108,15	25,10	5,20	17,16
461	2	1	1	31,10	1,70	15,20	5,20	1,40	1,90	8,00	9,00	103,00	39,00	3,00	36,60
461	2	1	2	27,40	1,70	14,40	3,80	1,40	1,80	2,00	10,00	126,00	40,00	4,00	30, 70
461	2	1	3	31,40	1,70	15,20	4,70	1,80	2,10	3,00	13,00	111,00	24,00	4,00	43,30
461	2	2	1	23,10	1,50	8,40	6,90	1,80	2,60	1,00	9,00	234,00	36,00	2,00	35,10
461	2	2	2	20,90	1,40	12,00	3,40	1,30	2,60	2,00	15,00	251,00	68,00	3,00	23,10
461	2	2	3	22,00	1,45	10,20	5,15	1,55	2,60	1,50	12,00	242,50	52,00	2,50	29,10
461	2	3	1	18,40	1,53	4,75	12,98	7,56	2,81	11,00	18,82	133,11	32,37	4,87	51,72
461	2	3	2	16,43	1,46	8,10	12,99	6,73	2,22	5,00	19,32	172,98	46,82	5,32	65,50
461	2	3	3	18,07	1,52	4,19	17,60	7,79	2,97	11,00	20,33	165,76	56,34	4,54	64,81
461	2	4	1	16,49	1,19	7,50	5,89	2,00	0,44	10,00	16,95	179,90	42,40	4,15	24,00
461	2	4	2	16,80	1,24	8,25	4,56	1,98	0,44	9,00	14,55	154,20	33,25	6,95	34,08
461	2	4	3	15,53	0,99	7,50	3,32	2,08	0,38	9,00	14,80	201,90	23,30	4,20	11,16
461	3	1	1	33,30	1,70	12,40	4,80	1,50	2,80	5,00	11,00	125,00	24,00	4,00	20,20
461	3	1	2	33,30	1,70	12,00	6,90	1,60	2,20	3,00	11,00	146,00	27,00	4,00	26,50
461	3	1	3	32,60	1,70	13,60	4,80	1,50	2,80	4,00	12,00	140,00	36,00	5,00	39,90
461	3	2	1	24,30	1,50	10,40	5,80	2,20	3,20	1,00	14,00	251,00	50,00	4,00	23,10
461	3	2	2	22,50	1,40	10,00	4,00	1,30	3,50	1,00	14,00	138,00	43,00	5,00	20,00
461	3	2	3	23,40	1,60	10,40	5,30	1,80	3,80	1,00	13,00	194,00	51,00	4,00	15,50
461	3	3	1	16,76	1,44	6,14	13,13	7,39	2,69	8,00	21,90	176,40	25,82	8,23	50,09
461	3	3	2	16,43	1,44	7,54	13,95	7,49	1,89	7,00	24,98	151,03	41,72	5,54	54,02
461	3	3	3	17,09	1,56	4,47	15,59	7,90	3,45	10,00	26,54	143,47	50,23	5,49	74,64
461	3	4	1	7,93	1,31	6,50	3,58	1,69	1,78	12,00	15,30	158,25	22,85	4,80	47,40
461	3	4	2	15,85	1,31	7,75	5,27	1,78	1,81	10,00	14,05	189,30	24,35	40,65	33,72
461	3	4	3	15,85	1,18	6,75	4,33	1,80	0,64	8,00	14,30	178,75	21,80	4,00	16,80

Dados: 1 = dose de NK (g/planta); 2 = plantas originárias das regiões de MG, 1 - Piranga, 2 - Betim e 3 - Barroso; 3 = ano de avaliação onde, 1 - 2011, 2 - 2012 e 3 - 2013, 4 – 2014.