

ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES POR MUDAS DE PUPUNHEIRA EM FUNÇÃO DE PROPORÇÕES VARIÁVEIS DO K, Ca E Na EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

Antonio Rodrigues FERNANDES²

Janice Guedes de CARVALHO³

Antonio Carlos Tadeu VITORINO⁴

José Romilson Paes de MIRANDA⁵

Haroldo Nogueira de PAIVA⁶

RESUMO: A relação do K com o Ca no meio de cultivo, onde pode ocorrer antagonismo entre ambos, passa a ter maior importância quando a espécie a ser cultivada é exigente em K, como é o caso das *Arecaceas*, e/ou Ca. Com o objetivo de estudar a influência de diferentes proporções K/Ca/Na sobre a absorção de macronutrientes por mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.), instalou-se um experimento usando solução nutritiva, em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, com 9 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos constaram das proporções K/Ca/Na 0,0/3,0/1,0; 1,0/2,5/1,0; 2,0/2,0/1,0; 3,0/1,5/1,0; 4,0/1,0/1,0; 5,0/0,5/1,0; e 6,0/0,0/1,0 e mais dois adicionais com variações na concentração de Na, constituindo as proporções K/Ca/Na 2,0/2,0/0,0 e 1,0/2,0/2,0. Nesse último, parte do potássio foi substituído por sódio. As proporções do K, Ca e Na foram supridas a partir das concentrações 2,0; 2,0 e 1,0 mmol L⁻¹, respectivamente. Os resultados apresentados demonstram a importância da proporção K/Ca/Na da solução para o acúmulo de nutrientes. A proporção K/Ca/Na de 3,0/1,5/1,0 foi a que proporcionou os maiores acúmulos de nutrientes nas mudas de pupunheira, mesmo não sendo a que promoveu os maiores teores, o que indica um melhor equilíbrio em K, Ca e Na da solução. As proporções K/Ca/Na apresentaram uma correlação positiva com os teores de K, S e Na e uma correlação negativa com os teores de Ca e Mg nas diferentes partes da pupunheira. A substituição de parte do K por Na não deve ser indicada por promover uma redução nos acúmulos dos nutrientes, com exceção do Mg.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Teor de Nutrientes, Acúmulo de Nutrientes, *Bactris gasipaes*

¹ Aprovado para publicação em 26.05.2004

Parte da Tese do primeiro autor apresentada a Universidade Federal de Lavras, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

² Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor da Universidade Federal Rural da Amazônia. Email: arfernan@ufra.edu.br.

³ Engenheira Agrônoma, Dra., Professora da Universidade Federal de Lavras. Email: janicegc@ufla.br.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Professor da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Email: vitorino@ceud.ufms.br

⁵ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor da Universidade Federal da Paraíba. Email: paesr@bol.com.br

⁶ Engenheiro Florestal, Dr., Professor da Universidade Federal de Viçosa. Email: hnpaiva@ufv.br.

MACRONUTRIENTS UPTAKE BY PEACH PALM SEEDLINGS AS A FUNCTION OF POTASSIUM, CALCIUM AND SODIUM RATIOS IN NUTRITIVE SOLUTION

ABSTRACT: The K/ Ca ratio in cultivation medium is important when the plant specie is very exigent in K and/or Ca nutrition, as it is the case of Arecaceas. The objective of this research was to determine the effect of K/Ca/Na ratios on macronutrients uptake by peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) seedlings. The experiment was made in greenhouse conditions at the Soil Science Department of the Federal University of Lavras, Minas Gerais, Brazil, using nutritive solution. A randomized block experimental design with nine treatments and four replications was used. The treatments were K/Ca/Na in the following ratios: 0.0/3.0/1.0; 1.0/2.5/1.0; 2.0/2.0/1.0; 3.0/1.5/1.0; 4.0/1.0/1.0; 5.0/0.5/1.0; and 6.0/0.0/1.0 with two additional treatments of K/Ca/Na in the ratios of 2.0/2.0/0.0 and 1.0/2.0/2.0. In this last ratio, part of the potassium was substituted by sodium. The K, Ca and Na ratio in the nutritive medium was supplied by 2.0; 2.0 and 1.0 mmolL⁻¹ solutions, respectively. The K/Ca/Na ratio of 3.0/1.5/1.0 showed the highest accumulation of nutrients in the peach palm seedlings which indicated a better balance of K, Ca and Na in the nutritive solution. The K/Ca/Na ratio showed a positive correlation with the K, S and Na concentrations and a negative correlation with the Ca and Mg contents in different tissues of the peach palm seedlings. The substitution of K by Na should not be recommended because it reduced the accumulation of all nutrients but Mg.

INDEX TERMS: Nutrient Content, Nutrient Accumulation, *Bactris gasipaes*.

1 INTRODUÇÃO

A pupunheira vem sendo cultivada em larga escala em diversas regiões do Brasil para produção de palmito. Desta espécie se extrai um produto de melhor qualidade do que o oriundo das tradicionais espécies fornecedoras, atualmente, o açaí (*Euterpe oleracea*) e a juçara (*E. edulis*) e permite um melhor controle de qualidade no produto final, o palmito. Esses fatores têm contribuído para a diversificação da produção das espécies produtoras de palmito e redução da exploração predatória das palmeiras espontâneas das matas tropicais.

Embora a pupunheira tenha se mostrado adaptada a solos com baixa fertilidade natural e esteja sendo cultivada, tanto no Brasil quanto na Costa Rica, em solos com baixo pH, elevada saturação de Al e, normalmente, baixo conteúdo de matéria orgânica, algumas pesquisas têm demonstrado respostas positivas à adubação (DEENIK; ARES; YOST, 2000; ARES et al., 2003).

Não obstante a realização de algumas pesquisas sobre fertilização da pupunheira, pouco se sabe sobre as exigências nutricionais, extração e exportação de nutrientes por essa cultura

(CANTARELLA; BOVI, 1995; CRAVO; MORAES; CRUZ, 1996).

A definição de um programa de adubação para a cultura, visando um maior rendimento econômico, depende de uma maior eficiência no uso dos fertilizantes e, para tal, deve-se conhecer, entre outros fatores, o equilíbrio entre os nutrientes no solo e na planta, bem como as exigências nutricionais da cultura.

O potássio é o segundo macronutriente mais extraído pela pupunheira, superado apenas pelo nitrogênio, sendo que é exportado em maior quantidade (HERRERA, 1989; CANTARELLA; BOVI 1995; CRAVO; MORAES; CRUZ, 1996). De acordo com Ares et al. (2003), 60 a 70 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de potássio são necessários para suprir os requerimentos mínimos da pupunheira em curto prazo. Em longo prazo é possível que uma quantidade adicional de potássio seja necessária para suprir as perdas que ocorrem nos solos caulíníticos (CRAVO; SMYTH, 1997). Por outro lado, Bovi, Godoy Jr. e Spiering (2002) constataram efeito linear positivo do potássio sobre o número de perfilhos de plantas de pupunheira, com doses que variaram de 50 a 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Em função das múltiplas e variadas funções que o K possui no crescimento e desenvolvimento das plantas, este elemento interage com a maioria dos macros e micronutrientes (DALIPARTH; BARKER; MONDAL, 1994) e com o elemento sódio.

A relação deste nutriente com o Ca no meio de cultivo, onde pode ocorrer

antagonismo entre ambos, passa a ter maior importância quando a espécie a ser cultivada é exigente em K, como é o caso das *Arecaceae*. Em outro contexto está o Na, o qual, em alguns trabalhos (BONNEAU et al., 1993; MAGAT; PADRONES; ALFORJA, 1993), tem estimulado o crescimento e promovido aumentos de produção, porém, não tem sido objeto de estudos nas espécies da família *Arecaceae*.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de proporções do K, Ca e Na sobre o teor e acúmulo de nutrientes e do sódio em mudas de pupunheira em solução nutritiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. As sementes de pupunheira foram colocadas para germinar em bandejas plásticas contendo vermiculita. Quando as plântulas apresentavam o primeiro par de folhas formado, foram colocadas em bandejas coletivas com capacidade para 36 L de solução de Dufour, Quencez e Schmitz (1978) para palmácea, a ¼ da força iônica, durante trinta dias e, posteriormente, ficaram por mais trinta dias a ½ força iônica. Após este período, as plantas foram transferidas para vasos individuais com capacidade para 3 L, contendo a mesma solução para palmácea, com força iônica total, onde, após trinta dias, a solução foi substituída conforme os tratamentos aplicados, permanecendo por três meses. Neste período, as soluções foram renovadas a cada quinze dias no primeiro mês e a cada

dez dias a partir do segundo mês. Em seguida, foram transferidas para vasos com capacidade para 9 L, onde permaneceram por mais cinco meses. Nesse recipiente, as soluções foram renovadas a cada vinte dias, nos primeiros dois meses e, a partir daí, a cada quinze dias.

A solução nutritiva foi mantida sob aeração durante todo o período experimental, bem como o seu volume mantido constante, pela reposição diária de água desionizada. O pH foi monitorado e, quando este abaixava de cinco, a solução era substituída.

A unidade experimental foi constituída por um vaso contendo uma planta, com uma solução nutritiva básica para macronutrientes, composta de: N-NO₃ = 8; N-NH₄ = 2; P = 1; K = 2; Ca = 2; Mg = 1,5; S-SO₄ = 1; Na = 1,0 e Cl = 0,5 mmol L⁻¹. As concentrações de K, Ca e Na variaram de acordo com os tratamentos, mantendo-se o balanço iônico.

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados com nove tratamentos, constituídos por proporções moleculares K/Ca/Na (Tabela 1). No tratamento correspondente a proporção molecular K/Ca/Na 1/2/2, parte do potássio foi substituído por sódio. As proporções do K com o Ca e com o Na foram estabelecidas a partir da concentração entre estes elementos, de 2; 2 e 1 mmol L⁻¹, respectivamente, na solução considerada por Dufour, Quencez e Schmitz (1978) como padrão para o dendezeiro (Arecaceae). Desta forma, tal tratamento foi tomado como controle neste estudo.

Depois de colhidas as plantas, o material vegetal foi separado em raiz, estipe

e folha. Posteriormente, todo o material vegetal foi lavado em água destilada corrente e seco em estufa de circulação forçada de ar a 65-70°C, até peso constante. A matéria seca correspondente a cada uma das partes foi pesada, moída e armazenada em frascos de vidro para determinações químicas.

No extrato obtido por digestão nitroperclórica do material vegetal foram obtidos os teores de P por colorimetria, de K e de Na por fotometria de chama, de S por turbidimetria e de Ca e de Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

O teor de N total foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl. Todos os nutrientes determinados seguiram metodologia adotada por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

O acúmulo foi calculado pela soma dos conteúdos nas diferentes partes da planta, que por sua vez foram determinados com base nos teores e nas produções de matéria seca.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e como ocorreram diferenças significativas pelo teste F (P<0,05), utilizou-se o teste de Duncan (P<0,05) para comparar todos os tratamentos, através do sistema de análises estatísticas SANEST (ZONTA; MACHADO, 1991). Foram determinadas correlações entre os tratamentos e os teores dos nutrientes nas diferentes partes da planta, assim como dos teores dos nutrientes com os teores de K e Ca. Para a determinação das correlações não foram considerados os tratamentos adicionais.

Tabela 1 – Concentrações dos nutrientes utilizados nas soluções de crescimento da pupunheira para as diferentes proporções de K, Ca e Na.

Nutriente	K/Ca/Na					K/Ca/Na*			
	0,0/3,0/1,0	1,0/2,5/1,0	2,0/2,0/1,0	3,0/1,5/1,0	4,0/1,0/1,0	5,0/0,5/1,0	6,0/0,0/1,0	2,0/2,0/0,0	1,0/2,0/2,0
	-----mmol L ⁻¹ -----								
N-NO3	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
N-NH4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
P	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	2,0	1,0
Ca	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	2,0	2,0
Mg	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
S-SO4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Na	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	2,0
Cl	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

* Tratamentos adicionais

Os sais que forneceram os nutrientes foram: Ca(NO₃)₂; NH₄NO₃; NaNO₃; Mg(NO₃)₂; KH₂PO₄; K₂SO₄ e MgCl₂. As concentrações dos micronutrientes e seus respectivos sais: B = 0,20 (H₃BO₃); Cu = 0,05 (CuSO₄.5H₂O); Fe = 3,00 (FeEDTA); Mn = 0,35 (MnSO₄.H₂O); Mo = 0,02 ((NH₄)₆Mo₇O₂₇.4H₂O) e Zn = 0,05 (ZnSO₄.7H₂O), em mg L⁻¹.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TEORES NAS PARTES DA PLANTA

As diferentes proporções do K, Ca e Na na solução de crescimento afetaram (P<0,05) os teores de N, P e K nas folhas, estipes e raízes da pupunheira (Tabela 2). As folhas das plantas apresentaram teores de N bem mais elevados que as raízes que, por sua vez, foram maiores que nos estipes, caracterizando um armazenamento maior nas folhas para suprir as partes em crescimento. Maiores teores de N nas diferentes partes da planta estiveram associados às proporções extremas do potássio e do cálcio, sugerindo que maior quantidade de N é requerida para

realização dos processos metabólicos sob desequilíbrio nutricional de K ou Ca, em função das diferentes proporções destes cátions na solução. De maneira oposta, os menores teores ocorreram na proporção K/Ca/Na de 2/2/1, considerada controle neste estudo e adequada para o dendezeiro de acordo com Dufour, Quencez e Schmitz (1978), e de 3,0/1,5/1,0, constatada por Fernandes e Carvalho (2001), como a que proporcionou maior crescimento para a pupunheira. Tal fato pode ser justificado por uma maior produção de fotossintatos, e, por conseguinte, uma maior produção de matéria seca, sem um aumento da quantidade de N absorvida, o que leva a um menor teor.

Tabela 2 – Teores de N, P e K, coeficientes de correlação dos teores de N, P e K com os tratamentos(CC) e coeficientes de correlação dos teores de K (TK) e de Ca (TCa) com os teores de N e P, nas folhas, estipes e raízes de plantas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva com concentrações de K, Ca e Na (mmol L^{-1}) em diferentes proporções.

Tratamentos (K/Ca/Na)	N			P			K		
	Folhas	Estipes	Raízes	Folhas	Estipes	Raízes	Folhas	Estipes	Raízes
	-----g kg ⁻¹ -----								
0,0/3,0/1,0	42,98a	24,05a	31,00a	3,99b	6,68ab	4,10c	1,87e	4,40e	3,52g
1,0/2,5/1,0	38,60bcd	15,20cd	18,68c	3,99b	6,73ab	4,20c	8,58d	12,32d	10,01f
2,0/2,0/1,0	36,10cde	11,56e	18,53c	3,27cd	5,83bc	6,60a	11,99c	17,16c	19,36d
3,0/1,5/1,0	32,90e	11,98e	19,53c	2,73d	5,31c	6,59a	14,74b	19,03c	24,09bc
4,0/1,0/1,0	38,85bc	17,25bc	19,75c	4,73a	6,56ab	4,01cd	16,17a	27,61a	25,85b
5,0/0,5/1,0	37,00bcd	15,23cd	17,78c	3,93bc	7,12a	4,18c	17,27a	24,86ab	25,85b
6,0/0,0/1,0	40,78ab	18,78b	24,73b	4,79a	6,88a	5,15b	16,61a	25,74ab	29,04a
2,0/2,0/0,0+	34,70de	14,48d	20,48c	2,59d	3,97d	3,25d	13,09c	23,98b	22,11cd
1,0/2,0/2,0+	39,70abc	14,95cd	19,55c	4,97a	7,27a	4,40bc	8,69d	16,50c	14,96e
CC	0,15	-0,11	-0,23*	0,21*	0,14	0,14	0,89**	0,84**	0,90**
TK	-0,36*	-0,36*	-0,35*	-0,03	-0,13	0,23			
TCa	-0,02	-0,08	0,03	-0,17	-0,17	0,38*			

(+) Tratamentos adicionais, não fizeram parte da análise de correlação.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

(**), (*) significativos a 1% e 5%, respectivamente.

Peñalosa, Cáceres e Sarro (1995) mostraram elevação dos teores de N nas folhas e seiva do feijoeiro com aumentos das proporções Ca/K (0,25; 0,50 e 1,00) na solução. Já Assis (1995) verificou, em plantas de dendezeiro cultivadas em solução nutritiva, que diferentes relações K/Ca/Mg não afetaram os teores de N nas folhas e folha 4, apenas o teor nas raízes foi afetado.

O teor de N nas folhas, em todos os tratamentos, está acima do nível adequado proposto por Malavolta (1997) para plantas de pupunheiras cultivadas em solução

nutritivas (27 g kg^{-1}) e bem mais elevado do que o nível constatado por Assis (1995), de $16,60 \text{ g kg}^{-1}$ para a parte aérea do dendezeiro cultivado na mesma solução, o que pode estar relacionado a uma maior exigência em N da pupunheira.

O teor médio de $23,83 \text{ g kg}^{-1}$ estimado para a parte aérea da pupunheira neste experimento quando comparado ao do dendezeiro cultivado no mesmo ambiente, para o mesmo tratamento (controle neste estudo), demonstra a grande variação no requerimento de nutrientes em relação às

espécies da mesma família, justificando os estudos individualizados das espécies e até mesmo de cultivares de uma mesma espécie.

Os teores de N nas raízes se correlacionaram negativamente (-0,23*) com as proporções de K, Ca e Na na solução (Tabela 2). Do mesmo modo, os teores de K (Tabela 2) se correlacionaram negativamente com os teores de N na massa seca das folhas (-0,36**), estipes (-0,36**) e raízes (-0,35**). Tais resultados divergem dos obtidos por Gunes et al. (1998), que verificaram correlação não significativa entre os teores de K e de N na matéria seca de tomateiros, em função da nutrição potássica.

Diferentemente do N, os teores de P na planta obedeceram a seqüência estipes > raízes > folhas, exceto nos tratamentos com proporções K/Ca/Na correspondentes a 2/2/1 e 3,0/1,5/1,0, nos quais as raízes se constituíram na parte de maior reserva de P (Tabela 2). Tais tratamentos apresentaram um melhor balanço entre o K, o Ca e o Na na solução, respaldados por um maior crescimento da pupunheira (FERNANDES; CARVALHO, 2001) e do dendezeiro (DUFOUR; QUENCEZ; SCHMITY, 1978). Os menores teores de P nas folhas estão associados a um balanço mais adequado dos cátions e a omissão de sódio na solução. Assim, em função do estresse provocado pelo desbalanço de cátions na solução, ocorreu um maior requerimento de P pelas folhas para realização dos processos metabólicos e/ou um maior consumo

energético da planta no ajuste osmótico (SALISBURY; ROSS, 1992).

Para o tratamento em que se omitiu o Na ocorreu uma menor absorção de P. O Na, por fazer parte da composição de soluto nas células, é necessário às palmáceas ao ajuste osmótico e ao balanço iônico (MARSCHNER; KYLIN; KUIPER, 1981; ALJUBURI, 1996). Assim sendo, contribuiu para a manutenção do baixo potencial osmótico das células das raízes, que é um pré-requisito para uma maior pressão de turgor, a qual regula o transporte de soluto via xilema e o balanço de água na planta (MARSCHNER, 1995), que, por sua vez, determina a absorção de P.

O teor de P nas folhas (2,73 g kg⁻¹), da planta, que corresponde à proporção K/Ca/Na de 3,0/1,5/1,0 está acima do valor preconizado como adequado por Malavolta (1997), de 2,3 g kg⁻¹, para folhas de plantas cultivadas em solução nutritiva, e dentro da faixa proposta por Raij e Cantarella (1996), de 2 a 3 g kg⁻¹, para a segunda folha com limbo totalmente expandido, no campo. Já Assis (1995) constatou teores de 3,60 g kg⁻¹ para a parte aérea de plantas de dendezeiro cultivadas com a mesma solução nutritiva utilizada neste trabalho.

Os teores de P nas folhas se correlacionaram positivamente e de forma significativa (0,21*) com as proporções de K, Ca e Na da solução (Tabela 2), mostrando uma tendência de aumento de P com a elevação do K na solução. Por outro lado, uma correlação positiva entre o teor de Ca e o de P nas raízes sugere uma redução de

ambos com o aumento da proporção de K. Isto pode estar relacionado a um menor transporte até as folhas, uma vez que menores teores médios de P na parte aérea ocorreram nos tratamentos com maior nível de Ca, devido a interações e antagonismo catiônico, conforme sugerem Mengel e Kirkby (1987), De Kreij (1996) e Gunes, Alpaslan e Inal (1998).

Aumentos das proporções de K na solução proporcionaram elevações ($P < 0,05$) dos teores de K (Tabela 2) e redução dos de Ca (Tabela 3) nas diferentes partes da planta, exceto para o Ca nas raízes, em que maiores teores ocorreram nos tratamentos com balanço de cátions mais adequados (K; Ca e Na de 2,0; 2,0 e 1,0 e de 3,0; 1,5 e 1,0 mmol L⁻¹). Em trabalho similar, Peñalosa, Cáceres e Sarro (1995) demonstraram que o nível de Ca e K na seiva e folhas de feijoeiro está diretamente relacionado à proporção dos nutrientes Ca e K no meio. Menores teores de K foram constatados nas folhas em relação aos estipes e raízes, o que denota constituírem-se áreas de reservas para o suprimento de K para as regiões de crescimento da planta.

A proporção K/Ca/Na de 1,0/2,5/1,0 proporcionou teor de K de 8,58 g kg⁻¹ nas folhas. Nesta condição, as plantas apresentaram sintomas característicos de deficiência de K, embora o teor esteja próximo da faixa considerada adequada por Rajj e Cantarella (1996), de 9 a 15 g kg⁻¹, para a segunda folha com limbo totalmente expandido de planta de até 1,60 m de altura, porém bem inferior ao teor proposto por

Malavolta (1997), de 30 g kg⁻¹, para cultivo em solução nutritiva. No cultivo do dendezeiro em solução nutritiva, Assis (1995) constatou teores de 12,6 g kg⁻¹ para a parte aérea e 22,3 g kg⁻¹ para a folha 4, enquanto para a pupunheira, o teor médio estimado para a parte aérea foi de 14,58 g kg⁻¹, em tratamento com mesma concentração de K e de Ca (2 e 2 mmol L⁻¹, respectivamente).

Os teores adequados de potássio, considerando a proporção K/Ca/Na (3,0/1,5/1,0), que promoveram maior crescimento da pupunheira (FERNANDES, CARVALHO, 2001) para as diferentes partes da planta foram, em g kg⁻¹: folhas = 14,74; estipes = 19,03 e raízes = 24,09.

Os teores de K apresentaram correlação positiva e altamente significativa (0,84**; 0,89** e 0,90**), respectivamente para folhas, estipes e raízes, com as proporções K/Ca/Na da solução, sugerindo que o teor desse nutriente nestas partes da planta foi influenciado pela concentração de K na solução e que o efeito antagonístico do Ca sobre o potássio parece ter ocorrido numa importância menor.

No tratamento em que se omitiu o Na (Tabela 2) ocorreu uma redução do teor de K nas folhas e um aumento nos estipes, enquanto nas raízes não foi afetado significativamente ($P < 0,05$). Ao substituir parte do K por Na (1 mmol L⁻¹), houve uma redução dos teores de K em todas as partes da planta, exceto no tratamento que não continha K e nas folhas daquele com 1 mmol L⁻¹ de K. Isto demonstra que a manutenção

de teores adequados de K, na pupunheira, depende da presença do sódio em concentrações equilibradas no meio, ao mesmo tempo que o Na não substitui o K quando este se encontrar numa concentração no meio, abaixo da adequada.

Os maiores teores de Ca ocorreram nas folhas, seguidos pelos estipes e raízes, independente da proporção K/Ca/Na, exceto no tratamento em que se omitiu o Ca (Tabela 3), quando houve uma inversão desta situação. Os teores constatados nas diferentes partes, de 9,91, 9,48 e 7,65 g kg⁻¹, nas folhas, estipes e raízes, respectivamente, para o tratamento de maior crescimento da pupunheira (FERNANDES; CARVALHO, 2001), estão bem acima dos valores considerados adequados por Malavolta (1997), de 6,80 g kg⁻¹ para folhas novas de plantas cultivadas em solução nutritiva. Estas diferenças podem estar relacionadas às variações existentes entre as concentrações das soluções nutritivas. Apesar da redução progressiva da concentração de Ca na solução, os teores determinados nas folhas para os diferentes tratamentos são superiores ao proposto como adequado por tal autor, exceto no tratamento em que se omitiu o Ca (5,05 g kg⁻¹).

Os teores de Ca nas folhas ($R = -0,86^{**}$), estipes ($R = -0,86^{**}$) e raízes ($R = -0,67^{**}$) apresentaram uma correlação negativa com as proporções da solução. A diminuição dos teores de Ca

nas diferentes partes da planta pode estar associada não só com a redução da concentração de Ca na solução, mas, também, ao aumento da concentração de K. A interferência negativa do K sobre a absorção e/ou translocação do Ca, ou vice-versa, pela planta, é caracterizada como antagonismo (SHUKLA; MUKHI, 1979; MANCIOT; OLLAGNIER; OCHS, 1980; MENGEL; KIRKBY, 1987), tendo sido constatados por diversos autores em diferentes culturas (CARMELO, 1989; KURIHARA, 1991; DIEM; GOLDBOD, 1993; ASSIS, 1995; CALLAN; WESTCOTT, 1996; GUNES; ASPASLAN; INAL, 1998). Comumente, é constatada uma maior interferência do K sobre a redução do teor de Ca nas plantas do que a do Ca sobre o K, estando relacionada à maior capacidade competitiva do K em relação ao Ca, em função da maior afinidade do K pelo carregador (MARSCHNER, 1995).

O teor de Ca foi afetado pela concentração de Na na solução. Na ausência do sódio, o teor de Ca aumentou significativamente nas folhas, quando comparado ao tratamento com mesma concentração de K e Ca (2 e 2 mmol L⁻¹, respectivamente) na solução e que continha 1 mmol L⁻¹ de Na.

As diferentes proporções K/Ca/Na afetaram significativamente os teores de Mg (Tabela 3) nas diferentes partes da planta. Os teores de Mg ocorreram na planta na seguinte ordem: estipes>folhas>raízes.

Tabela 3 — Teores de Ca, Mg, S e Na, coeficientes de correlação dos teores de Ca, Mg, S e Na com os tratamentos (CC) e coeficientes de correlação dos teores de K (TK) com os teores de Ca, Mg, S e Na e de Ca (TCa) com os teores de Mg, S e Na nas folhas, estipes e raízes de plantas de pupunheira, cultivada em solução nutritiva com concentrações de K, Ca e Na (mmol L⁻¹) em diferentes proporções.

Tratamentos	Ca			Mg			S			Na		
	Folhas	Estipes	Raízes	Folhas	Estipes	Raízes	Folhas	Estipes	Raízes	Folhas	Estipes	Raízes
0,0/3,0/1,0	42,98a	24,05a	31,00a	3,99b	6,68ab	4,10c	1,87e	4,40e	3,52g	0,61d	0,61c	2,09cde
0,0/3,0/1,0	11,25a	9,00ab	6,82bc	5,85a	6,34a	3,68ab	2,51e	1,76abc	3,09bcd	0,50d	0,88b	2,64b
1,0/2,5/1,0	10,56ab	9,94a	6,83bc	4,17cd	4,87b	3,19c	2,74cde	1,70bcd	2,75d	0,94	0,72bc	2,37bcd
2,0/2,0/1,0	7,66d	7,23cd	7,34ab	3,55d	3,57c	3,84a	2,71de	1,55cd	3,09bcd	1,43a	0,83bc	2,48bc
3,0/1,5/1,0	9,91bc	9,48a	7,65a	3,58cd	4,21bc	3,25bc	2,74cde	1,93ab	3,02bcd	1,10bc	1,27a	1,93e
4,0/1,0/1,0	9,14c	7,91c	5,35d	3,95cd	4,15bc	1,95d	2,78bcd	1,66bcd	2,89cd	1,27ab	1,32a	1,98de
5,0/0,5/1,0	7,21d	6,79d	5,18d	3,81cd	4,72b	2,02d	3,02ab	1,69bcd	3,07bcd	1,27ab	1,49a	2,48bc
6,0/0,0/1,0	5,05e	5,10e	5,72d	4,22c	4,08bc	1,94d	2,97abc	2,02a	3,79a	0,44d	0,88b	1,10f
2,0/2,0/0,0+	9,75bc	8,23bc	6,94bc	3,99cd	4,05bc	2,38d	2,83abcd	1,45d	3,22bc	0,94c	0,73**	0,75**
1,0/2,0/2,0+	10,33abc	9,25a	6,65c	4,97b	6,08a	3,65ab	3,05a	1,77abc	3,44ab	0,62**	0,69**	-0,18*
CC	-0,86**	-0,86**	-0,67**	-0,55**	-0,57**	-0,82**	0,56**	0,38**	0,38*	0,73**	0,69**	-0,22
TK	-0,66**	-0,56**	-0,40*	-0,72**	-0,62**	-0,68**	0,46**	-0,01	0,30*	-0,50**	-0,45**	0,16
TCa				0,45	0,42*	0,73**	-0,34*	-0,05	-0,11			

(+) Tratamentos adicionais. Não fizeram parte da análise de correlação. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. (*), (**) significativo a 5 e 1%, respectivamente.

Os aumentos dos níveis de K e diminuição dos de Ca na solução, representados pela elevação das proporções K/Ca, se correlacionaram negativamente com os teores de Mg nas diferentes partes da planta, demonstrando o efeito antagônico do K sobre o Mg (MENGEL; KIRBKY, 1987; DIEM; GODBOLD, 1993). A competição do K com o Mg no processo de absorção pelas plantas cultivadas é bastante conhecida (BRAUER, 1994; CALLAN; WESTCOTT, 1996), mas o mecanismo pelo qual ocorre o antagonismo não está bem esclarecido.

O teor de Mg nas folhas de mudas de pupunheira na melhor proporção K/Ca/Na (3,0/1,5/1,0) considerando o maior crescimento (FERNANDES; CARVALHO, 2001) foi de 3,58 g kg⁻¹, enquanto Malavolta (1997) propõe um teor de 4,6 g kg⁻¹ para folhas novas, e Raij e Cantarella (1996) sugerem uma faixa de 2 a 4 g kg⁻¹ para a segunda folha de limbo totalmente expandido de plantas com mais de 1,6 m de altura.

A concentração de Na na solução não influenciou o teor de Mg nas folhas e estipes, apenas nas raízes. Por outro lado, quando foi dobrada a concentração de Na na solução, para substituir parte do K, ocorreram aumentos do teor de Mg nas diferentes partes da plantas, os quais devem estar associados à redução da concentração de K.

As proporções K/Ca/Na provocaram alterações significativas nos teores de S (Tabela 3) nas diferentes partes da planta. Maiores teores de S ocorreram nas raízes,

seguidas das folhas e estipes. A elevação da proporção de K na solução promoveu um efeito sinérgico sobre o S, principalmente nas folhas, com correlações positivas e significativas (0,56**), assim como os teores de K se correlacionaram positivamente com os de S nas folhas e raízes (0,46** e 0,30*, respectivamente).

Os teores de S na melhor proporção K/Ca/Na (3,0/1,5/1,0), correspondente ao maior crescimento (FERNANDES; CARVALHO, 2001), encontrada corresponderam a 2,74, 1,93 e 3,02 g kg⁻¹ nas folhas estipes e raízes, respectivamente, enquanto Malavolta (1997) considera como adequado 2,3 g kg⁻¹ em folhas novas e normais.

Os teores de Na aumentaram significativamente nas folhas e estipes com o aumento da proporção de K na solução, se correlacionando positivamente com estas proporções e com os teores de K nas folhas (Tabela 3). O aumento dos teores de Na com o aumento da proporção de K pode estar relacionado a um efeito sinérgico do K sobre o Na, que, dependendo da quantidade de cada um na solução, também pode ser antagônico (DALIPARTHY, BARKER; MONDAL, 1994).

Os teores de Na nas folhas, estipes e raízes, em g kg⁻¹, foram de 1,43; 0,83 e 2,48, respectivamente, correspondendo à proporção K/Ca/Na na solução, que proporcionou o maior crescimento da pupunheira (FERNANDES; CARVALHO, 2001).

Ao dobrar a concentração de Na na solução, em substituição à parte do K (proporção K/Ca/Na de 1/2/2), o teor de Na aumentou nas raízes e diminuiu nas folhas, quando comparado aos tratamentos em que a proporção de K foi maior que 1. Isto sugere que o transporte de Na das raízes para as folhas foi reduzido, possivelmente pelo Ca, por este se encontrar numa concentração maior que a do K, conforme constatado nos demais tratamentos de mesma condição. De acordo com Sonj e Fujiyama (1996), o Ca inibiu o transporte de Na para a parte aérea em plantas de arroz e tomate.

3.2 ACÚMULO DE NUTRIENTES NA PLANTA

As proporções K/Ca/Na provocaram alterações significativas ($P < 0,05$) no

acúmulo dos macronutrientes e do Na (Tabela 4). Os maiores conteúdos dos nutrientes estão associadas à proporção K/Ca/Na de 3,0/1,5/1,0 na solução, porém os acúmulos de N, P e Mg não diferiram estatisticamente daqueles observados na proporção 2/2/1 proposta por Dufour, Quencez e Schmitz (1978) como ideal para a palmácea dendezeiro e considerada controle neste estudo. O que se espera de uma solução nutritiva adequada para uma determinada planta é que ela possa acumular maior quantidade possível de nutrientes, o que foi constatado com a equivalência na solução entre o K e o Ca de 3,0 para 1,5 mmol L^{-1} . Na proporção K/Ca/Na de 0,0/3,0/1,0 constatou-se o menor acúmulo dos nutrientes e do Na na planta.

Tabela 4 – Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, e Na em plantas de pupunheira, cultivada em solução nutritiva com concentrações de K, Ca e Na (mmol L^{-1}) em diferentes proporções.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
(K/Ca/Na)	mg planta ⁻¹						
0,0/3,0/1,0	2422,88e	345,08f	216,48e	682,18de	392,82de	168,83d	65,39c
1,0/2,5/1,0	3324,27bc	723,59bc	1466,10d	1318,57b	591,74b	319,60bc	165,25b
2,0/2,0/1,0	3676,92ab	861,14a	2685,60bc	1274,78b	617,77ab	395,28b	203,09b
3,0/1,5/1,0	4007,02a	925,91a	3644,88a	1761,33a	726,15a	479,01a	280,39a
4,0/1,0/1,0	3211,11bcd	666,27bcd	2960,08bc	988,09c	447,11cde	298,98c	174,08b
5,0/0,5/1,0	3363,13bc	744,11b	3194,82ab	932,44cd	525,43bc	361,42bc	211,61b
6,0/0,0/1,0	2930,57cd	596,38d	2459,35c	548,70e	369,44e	296,43c	176,18b
2,0/2,0/0,0+	3212,46bcd	461,03e	2759,47bc	1183,35bc	504,26bcd	334,79bc	109,52c
1,0/2,0/2,0+	2748,23de	614,96cd	1438,39d	980,35c	549,98bc	292,85c	189,36b

(+) Tratamentos adicionais

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A omissão do Na na solução não alterou significativamente o conteúdo de N, K, Ca, Mg e S pelas plantas, quando comparado ao tratamento com mesma proporção K/Ca/Na (controle), afetando apenas o acúmulo de P e Na; porém, quando comparado ao tratamento de melhor equilíbrio entre o K e o Ca (K/Ca/Na = 3,0/1,5/1,0), ocorreram reduções significativas do conteúdo de todos os nutrientes e do Na. No entanto, quando a concentração de Na foi dobrada para substituir parte do K (K/Ca/Na = 1/2/2), a acumulação de N, P, K, Ca e S diminuiu significativamente quando comparado ao tratamento controle, com igual nível de Ca.

4 CONCLUSÃO

a) A proporção K/Ca/Na de 3,0/1,5/1,0 foi a que proporcionou os maiores acúmulos de nutrientes nas mudas de pupunheira, mesmo não sendo a que promoveu os maiores teores, o que indica um melhor equilíbrio em K e Ca da solução;

b) as proporções K/Ca/Na apresentaram uma correlação positiva com os teores de K, S e Na e uma correlação negativa com os teores de Ca e Mg, nas diferentes partes da pupunheira;

c) a substituição de parte do K por Na não deve ser indicada por promover uma redução nos acúmulos dos nutrientes, com exceção do Mg.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALJUBURI, H.J. Effects of salinity and gibberellic acid on mineral concentration of date palm seedlings. *Fruits*, Paris, v.51, n.6, p.429-435, Nov./Dec.1996.

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

ASSIS, R.P. de. *Nutrição mineral e crescimento de mudas de dendezeiro (Elaeis guineensis Jacq.) em função de diferentes relações entre K, Ca e Mg na solução nutritiva*. 1995. 41p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – ESAL, Lavras, 1995.

BONNEAU, X; OCHS, R; KITU, W.T.; YUSWOHADI. Chlorine: an essential element in the mineral nutrition of hybrid coconuts in Lampung (Indonesia). *Oleagineux*, Paris, v.48, n.4, p.179-190, 1993.

BOVI, M. L. A., GODOY JR., G; SPIERING, S. H. Peach palm growth responses to NPK fertilization. *Scientia. Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n.1, p.161-166, jan./mar. 2002.

BRAUER, D. Potassium inhibition of calcium and magnesium accumulation in roots of intact maize seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.17, n.5, p.709-716, 1994.

CALLAN, N.W.; WESTCOTT, M.P. Drip irrigation for application of potassium to tart cheery. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.19, n.1, p.163-172, 1996.

CANTARELLA, H.; BOVI, M.L.A. Extração e reciclagem de nutrientes em plantas de pupunha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa (MG). *Resumos expandidos...* Viçosa (MG): SBCS, 1995. v.2, p.788-790.

CARMELO, Q.A. de C. *Saturação por bases e relações entre K, Ca e Mg no solo na nutrição potássica do milho (Zea mays L.) cv. Piranão*. 1989. 105p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - ESALQ, Piracicaba, 1989.

CRAVO, M.S.; SMYTH, J.T. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazonia Central sob cultivos sucesivos. such as peach palm. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.2, p.607-616, 1997.

_____; MORAES, C.R.A.; CRUZ, L.A.A. Extração de nutrientes por palmitos de pupunha. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., 1996, Manaus. *Resumos expandidos...* Manaus: SBSCS, 1996. p.624-625.

DALIPARTHY, J.; BARKER, A.V.; MONDAL, S.S. Potassium fractions with other nutrients in crops: a review focusing on the tropics. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.17, n.11, p.1859-1886, 1994.

DE KREIJ, C. Interactive effects of air humidity, calcium and phosphate on blossom-end rot, leaf deformation, production and nutrient contents of tomato. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.19, n.2, p.361-377, 1996.

DEENIK, J.; ARES, A.; YOST, R.S. Fertilization response and nutrient diagnosis in peach palm (*Bactris gasipaes*): a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.56, n.3, p.195-207, Mar. 2000.

DIEM, B.; GODBOLD, D.L. Potassium, calcium and magnesium antagonism in clone of *Populus trichocarpa*. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 155/156, p.411-414, Oct. 1993.

DUFOUR, F.; QUENCEZ, P.; SCHMITY, G. Technique de culture en solutions nutritives du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux*, Paris, v.33, n.10, p.485-490, Oct. 1978.

FERNANDES, A.R.; CARVALHO, J.G. de. Crescimento de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.) em função de relações do K com o Ca e com o Na, em solução nutritiva. *Cerne*, v.7, n.1, p.84-89, 2001.

GUNES, A.; ALPASLAN, M.; INAL, A.. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.21, n.10, p.2035-2047, 1998.

HERRERA, W. Fertilización del pijuayo para palmito. *Boletín Informativo de la Universidad de Costa Rica*, Costa Rica, v.1, n.2, p.4-10, 1989.

KURIHARA, C.H. *Nutrição mineral e crescimento da soja sob influência do equilíbrio entre Ca, Mg e K*. 1991. 95p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - ESAL, Lavras, 1991.

MAGAT, S.S.; PADRONES, G.D.; ALFORJA, L.M. Residual effects of three chloride fertilizers on yield and leaf nutrient levels of coconuts grown on an inland soil of Davao (Mindanao, Philippines). *Oleagineux*, Paris, v.48, p.237-242, 1993.

MALAVOLTA, E. *Nutrição e adubação da pupunheira (*Bactris gasipaes* H.B.K.): curso sobre nutrição e adubação de pupunheira*. Belém: [s.n.], 1997. 24p. Apostila.

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

MANCIOT, R.; OLLAGNIER, M.; OCHS, R. Mineral nutrition and fertilization of the coconut around the world. *Oleagineux*, Paris, v.35, p.41-55, 1980.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plant*. 2nd ed. New York: Academy Press, 1995. 889p.

_____; KYLIN, A.; KUIPER, P. Difference in tolerance of tree sugar beet genotypes. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.51, p.234-238, 1981.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 4th ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

PEÑALOSA, J.M.; CÁCERES, M.D.; SARRO, M.J. Nutrition of beans plants in sand culture: influence of calcium/potassium ratio in the nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.18, n.10, p.2023-2032, 1995.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. et al. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico: Fundação IAC, 1996. p.233-236. (IAC. Boletim, 100).

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.V. *Plant physiology*. Wadsworth: Marcel Dekker, 1992. 682p.

SHUKLA, U.C.; MUKHI, A.K. Sodium, potassium and zinc relationships in corn. *Agronomy Journal*, New York, v.71, n.2, p.235-237, Mar./Apr. 1979.

SONJ, J.Q; FUJIYAMA, H. Difference in response of rice and tomato subjected to sodium salinization to the addition of calcium. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v.42, p.503-510, 1996.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. *Sistema de análise estatística para microcomputadores (SANEST)*. Pelotas: UFPel. Departamento de Matemática e Estatística, 1991. 101p.