

## AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line) 1981-0997

v.7, suplemento, p.866-875, 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7isa2134

Protocolo 2134 - 11/03/2012 • Aprovado em 29/06/2012

João A. da Silva<sup>1</sup>

Paulo Bonomo<sup>2</sup>

Sérgio L. R. Donato<sup>1</sup>

Aureliano J. V. Pires<sup>3</sup>

Raul C. C. Rosa<sup>4</sup>

Paulo E. R. Donato<sup>1</sup>

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Zona Rural, Distrito de Cerâmica, CEP 46430-000, Guanambi-BA, Brasil. Caixa Postal 09.

Fone: (77) 3493-2100 Ramal 119.

Fax: (77) 3493-2099. E-mail:

joaabelsilva@yahoo.com.br;

sergio.donato@guanambi.ifbaiano.edu.br;

paulo.donato@guanambi.ifbaiano.edu.br

2 Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Praça Primavera, DEBI, Primavera, CEP 45700-000, Itapetinga-BA, Brasil. Fone: (77) 3261-8609. E-mail: bonomo@gmail.com

3 Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus Juvino Oliveira, Praça Primavera, 40, Itapetinga-BA. E-mail: aurelianojvp@yahoo.com.br

4 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa, s/n, CEP 44380-000, Cruz das Almas-BA, Brasil. Fone: (75) 3312-8053 Ramal 8053. E-mail: raul@cnpmf.embrapa.br

# Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química

## RESUMO

Objetivou-se avaliar teores de nutrientes e produção de matéria seca na palma cultivar gigante, sob diferentes espaçamentos e adubações aos 390 e 620 dias após o plantio (DAP). Utilizaram-se delineamento em blocos casualizados, 12 tratamentos, três repetições, em fatorial 3 x 4: três espaçamentos: 1,00 x 0,50; 2,00 x 0,25 e 3,00 x 1,00 x 0,25 m e quatro adubações: 000-000-000; 000-150-000; 200-150-000; 200-150-100, kg ha<sup>-1</sup>, de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Determinaram-se: N, P, K, S, Ca, Mg, B, Fe, Mn, Zn, Na e Cu, com respectivas médias: 1,25; 0,08; 2,51; 0,30; 1,75; 0,77 (dag kg<sup>-1</sup>) e 15,82; 12,22; 37,88; 444,02; 42,36; 40,21 (mg kg<sup>-1</sup>) aos 390 DAP; 1,75; 0,12; 2,49; 0,37; 2,68; 1,25 (dag kg<sup>-1</sup>) e 22,43; 04,55; 45,20; 1.354,28; 65,37; 40,44 (mg kg<sup>-1</sup>) aos 620 DAP, e produção de matéria seca média de 17,10 Mg ha<sup>-1</sup>. Não houve interações para teores de nutrientes, apenas na PMS. O uso de NPK e NP reduziu os teores de Ca e Na e aumentou os de N, P, S e Mn. A adubação com NP reduziu o teor de K e a adubação com P aumentou o teor de P nos cladódios, comparado ao tratamento sem adubação. O potássio e nitrogênio extraídos foram maiores que os adicionados. As adubações elevaram os teores de nutrientes principalmente nitrogênio e fósforo melhorando o valor nutricional e, no espaçamento 1,00 x 0,50 m, resultou em maior produção de matéria seca.

**Palavras-chave:** cactaceae, concentração, fertilização NPK, *Opuntia*

## Mineral compositions in forage cactus cladodes under different spacings and chemical fertilizers

## ABSTRACT

Objective of study was to evaluate the nutrient and dry matter production in the giant palm cultivar under different spacing and fertilization at 390 and 620 days after planting (DAP). A randomized block design was used with 12 treatments, three replications in a factorial 3 x 4: three spacings: 1.00 x 0.50, 2.00 x 0.25 and 3.00 x 1.00 x 0.25 m and four fertilizations: 0-0-0, 0-150-0, 200-150-0, 200-150-100, kg ha<sup>-1</sup> of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O. The mean contents of N, P, K, S, Ca, Mg, B, Fe, Mn, Zn and Cu determined were respectively 1.25, 0.08, 2.51, 0.30, 1, 75; 0.77 (dag kg<sup>-1</sup>), and 15.82, 12.22, 37.88, 444.02, 42.36, 40.21 (mg kg<sup>-1</sup>) at the DAP 390, and 1.75; 0.12; 2.49, 0.37; 2.68; 1.25 dag kg<sup>-1</sup> and 22.43; 04.55; 45.20, 1354.28; 65.37; 40.44 mg kg<sup>-1</sup> at 620 DAP, with means dry matter production (PMS) of 17.10 Mg ha<sup>-1</sup>. There were no interactions for nutrient contents except PMS. Use of NPK and NP reduces the Ca and Na content and increases the N, P, S and Mn contents. Fertilization with NP reduces the concentration of K and fertilization with P increases P compared to control. The extracted potassium and nitrogen were greater than added. Fertilizations increased the nutrient levels, especially nitrogen and phosphorus, which improve nutritional value, and production was increased in the spacing 1.00 x 0.50 m.

**Key words:** cactus, concentration, fertilization NPK, *Opuntia*

## MATERIAL E MÉTODOS

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) é uma alternativa para alimentação dos rebanhos e manutenção da atividade pecuária no semiárido nordestino. Esta região apresenta temperaturas médias elevadas e precipitações médias anuais de 300 a 700 mm, extremamente concentradas. Neste cenário, no qual o grande limitante da produção pecuária está relacionado à quantidade de forragem produzida, a palma forrageira é estratégia imperativa de apoio para a convivência da pecuária regional com as secas. Conforme Oliveira et al. (2010a) nessas áreas é preciso valorizar as plantas forrageiras que melhor se adaptam às suas condições climáticas.

A palma, por apresentar características morfofisiológicas de adaptação às condições de semiárido, é cultivada em larga escala em vários estados do nordeste e, mais recentemente, teve seu cultivo ampliado na Bahia, região em que o sistema de produção e a utilização da palma ainda são caracterizados pela baixa adoção de tecnologias que levam à obtenção de uma produtividade inferior ao potencial da cultura.

Da mesma forma que nas outras culturas, a palma alcança elevada produtividade quando manejada racionalmente, com uso de correção e adubação do solo, densidade de plantio adequada, controle de plantas daninhas e manejo correto da colheita (Oliveira et al., 2010). A palma apresenta alta interação com o ambiente cuja absorção de nutrientes e desenvolvimento vegetativo está em função do tipo de cultivo, genótipo e fatores edafoclimáticos. A utilização de diferentes densidades de plantio ou população de plantas ou, mesmo, do arranjo ou distribuição de plantas na área, pode resultar em mudanças na absorção de nutrientes pelas plantas e consequentes diferenças nos teores dos elementos nos tecidos. Isto decorre da competição por nutrientes entre as raízes e está relacionado com a mobilidade dos nutrientes no solo (Novais & Mello, 2007).

A cultura absorve grandes quantidades de nutrientes do solo, o que foi verificado por Santos et al. (1990) ao analisarem a matéria seca e encontrar teores médios de N, P, K e Ca na ordem de 0,9; 0,16; 2,58 e 2,35 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Normalmente, dietas compostas com palma apresentam elevado teor de matéria mineral devido à alta concentração de macronutrientes minerais que a mesma contém (Melo et al., 2003). Considerando uma produtividade de 40 Mg ha<sup>-1</sup>, a palma forrageira extrai cerca de 360 kg de N, 64 kg de P, 1.032 kg de K e 940 kg de Ca por hectare, a cada dois anos, sem considerar os outros macros e micronutrientes (Dubeux Júnior & Santos, 2005).

A cultura é de grande importância para a pecuária da região e há necessidade de se entender melhor os efeitos das práticas culturais sobre sua produção. Como forma de complemento à análise química do solo para conhecer o estado nutricional das plantas, deve-se proceder à avaliação química de teores de nutrientes em tecido foliar pois esta reflete a dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta. Com este trabalho objetivou-se avaliar os teores de nutrientes nos tecidos dos cladódios e a produção de matéria seca de palma forrageira cultivada sob diferentes tipos de adubação química e espaçamento, aos 390 e 620 dias após plantio.

O experimento foi implantado no Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi, BA. O solo é Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, típico A fraco, textura média, fase Caatinga hipoxerófila, relevo plano a suave ondulado. As coordenadas são 14°13'30"S, 42°46'53"W, a altitude, 545 m, e o clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com médias anuais de precipitação de 663,69 mm e temperatura de 26 °C. Durante o ensaio a precipitação foi 1463,00 mm entre outubro de 2009 e julho de 2011.

O estudo consistiu da avaliação dos teores de macro e micronutrientes, aos 390 dias após o plantio e 620, época da colheita (1,7 anos) em tecidos de cladódios de palma forrageira 'Gigante' (*Opuntia ficus-indica* Mill). O experimento foi delineado em blocos ao acaso, com 12 tratamentos dispostos em esquema fatorial 3 x 4 e três repetições. O primeiro fator foi constituído por três espaçamentos: a) fileira simples, 1,00 x 0,50 m; b) fileira simples 2,00 x 0,25 m e fileira dupla, 3,00 x 1,00 x 0,25 m) mantendo a densidade populacional de 20.000 plantas ha<sup>-1</sup>; o segundo fator foi composto de quatro combinações de adubações química: a) sem adubação química; b) uso de adubação fosfatada (P) na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup>; c) uso de adubação fosfatada e nitrogenada (NP) nas quantidades de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e d) uso de adubação nitrogenada, fosfatada e potássica (NPK) nas doses de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A parcela experimental mede 16 x 4 m, e área útil de 8,00 x 2,00 m, totalizando trinta e seis unidades experimentais e área total de 2.304 m<sup>2</sup>.

Após limpeza da área com uso de roçadeira demarcaram-se as 36 unidades experimentais; em cada uma delas foram retiradas cinco amostras simples de solo (0-20 cm de profundidade) que, após misturadas, formaram amostras compostas para cada parcela que foram encaminhadas para análise e avaliação da fertilidade e apresentaram os seguintes resultados médios: pH em água = 5,33; (P = 10,6 e K = 53,8) mg.dm<sup>-3</sup>; (Na = 0,1; Ca = 1,4; Mg = 0,9; Al = 0,1; (H+Al) = 1,8; SB = 2,4; t = 2,6 e T = 4,4) cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; (V = 55,9 e m = 5,0)%; (Cu = 0,3; Fe = 7; Mn = 57,7; Zn = 2,0) mg.dm<sup>-3</sup>. Na sequência, foram preparados o solo, com operações de subsolagem a 35 cm de profundidade, e duas gradagens, seguidas de abertura dos sulcos com sulcador de três linhas regulado para 1,00 m entre os sulcos e profundidade média de 0,30 m.

O plantio da palma foi realizado no final do mês de setembro de 2009 utilizando-se um cladódio por cova, na vertical, enterrado a até uma profundidade de aproximadamente a metade do artículo. O material de plantio foi obtido em palmar do Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi, com peso aproximado de 1,0 kg, livre de pragas e doenças; após o corte e a seleção no campo, as mudas foram deixadas à sombra em repouso, pelo tempo de quinze dias, visando à cicatrização dos ferimentos da colheita.

Durante o plantio foi realizada adubação fosfatada em cada parcela, correspondente a este tratamento, aplicando-se 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o que equivale a uma aplicação de 5,33 kg parcela<sup>-1</sup> de superfosfato simples. Na condução do experimento as adubações de cobertura com nitrogênio, 200 kg ha<sup>-1</sup> e potássio,

100 kg ha<sup>-1</sup> (6,4 kg parcela<sup>-1</sup> de sulfato de amônio e 1,10 kg parcela<sup>-1</sup> de cloreto de potássio) foram divididas em quatro aplicações correspondentes a 15%, 25%, 30% e 30% do total, respectivamente. A primeira aplicação foi 0,96 kg parcela<sup>-1</sup> de sulfato de amônio e 0,17 kg parcela<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, realizada em 28/12/2009, respeitando as condições de solo úmido e a existência de pelo menos um cladódio por planta. A segunda aplicação foi em 23/02/2010, correspondendo a 1,60 kg parcela<sup>-1</sup> de sulfato de amônio e 0,28 kg parcela<sup>-1</sup> de cloreto de potássio 57 dias após a primeira, também com solo úmido. As terceira e a quarta aplicações, com 1,92 kg parcela<sup>-1</sup> de sulfato de amônio e 0,33 kg parcela<sup>-1</sup> de cloreto de potássio cada uma, foram feitas em 14/11/2010 e 27/12/2010, respectivamente, após o início do período chuvoso.

O primeiro controle de plantas daninhas foi feito com enxada; posteriormente, com o crescimento da planta passou-se ao uso de capina química, com glifosato (200 mL 20 L<sup>-1</sup> de água) aplicado em jato dirigido nas entrelinhas da cultura, no total de três aplicações. O controle de outras pragas seguiu as recomendações de literatura.

A primeira coleta de amostras para as análises dos teores de nutrientes nos tecidos foi realizada em novembro de 2010, aos 390 dias após o plantio (DAP). Foram coletadas amostras de tecido dos cladódios para determinação dos teores de macro e micronutrientes. Amostraram-se cladódios da posição mediana da planta, no total de 20 amostras por tratamento, dentro da parcela útil, com aproximadamente 25 g de massa verde cada uma. Para este procedimento utilizou-se uma serra copo com 5 cm de diâmetro e 4 cm de profundidade, adaptada a uma furadeira à bateria, que era acionada sobre o cladódio retirando-se uma fatia circular e uniforme (amostra). Após a

coleta as amostras foram fatiadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada a 60 °C, por 72 h; posteriormente, foram moídas em moinho tipo Willey com peneira com mesh de 1,00 mm, identificadas e acondicionadas em potes plásticos e, na sequência, enviadas ao Laboratório de Solos da Epamig Norte de Minas, para os procedimentos analíticos.

Determinaram-se os teores de: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) expressos em dag kg<sup>-1</sup>; boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), sódio (Na) e cobre (Cu) expressos em mg kg<sup>-1</sup>. As determinações analíticas seguiram Malavolta et al. (1989): N, digestão sulfúrica com o método Kjeldahl; P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, digestão nítrico-perclórica e B, digestão via seca; aos 620 DAP foram coletadas novas amostras repetindo-se os procedimentos já descritos, referentes à amostragem, envio e determinações analíticas.

Os dados das avaliações foram submetidos à análise de variância para verificação da significância das interações entre os fatores testados pelo Teste F, a 5% de probabilidade. As interações significativas foram desdobradas e as médias para os teores de nutrientes nos cladódios comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; na ausência de interações foram estudados os efeitos dos fatores principais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e cálcio, avaliadas aos 390 DAP (Tabela 1), e de nitrogênio, fósforo enxofre e cálcio, avaliadas aos 620 DAP (Tabela 2), em cladódios de palma forrageira, diferiram (P<0,05) em função das adubações químicas, independentemente do espaçamento de plantio utilizado.

**Tabela 1.** Médias dos teores de macronutrientes (dag kg<sup>-1</sup>) aos 390 dias após o plantio, em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química

**Table 1.** Mean macronutrient contents (dag kg<sup>-1</sup>), at 390 days after the planting, in cladodes tissues of forage cactus grown under different spacings and chemical fertilizations

Adubações N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Macronutrientes (dag kg <sup>-1</sup> )					
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Enxofre	Cálcio	Magnésio
000-000-000	1,02 C	0,07 B	2,59 A	0,15 C	1,70 AB	0,80
000-150-000	1,12 BC	0,08 AB	2,51 A	0,22 BC	1,93 A	0,79
200-150-000	1,41 AB	0,09 A	2,14 B	0,42 AB	1,65 B	0,73
200-150-100	1,47 A	0,09 A	2,53 A	0,43 A	1,74 AB	0,77
Média	1,25	0,08	2,44	0,30	1,75	0,77
CV (%)	19,66	14,71	11,14	11,52	11,91	10,25

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

CV – coeficiente de variação

**Tabela 2.** Médias dos teores de macronutrientes (dag kg<sup>-1</sup>) aos 620 dias após o plantio, em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química

**Table 2.** Mean macronutrients contents (dag kg<sup>-1</sup>), at 620 days after planting, in cladodes tissues of forage cactus grown under different spacings and chemical fertilizers

Adubações N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Macronutrientes (dag kg <sup>-1</sup> )					
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Enxofre	Cálcio	Magnésio
000-000-000	1,19 B	0,08 B	2,52	0,12 B	2,82 AB	1,30
000-150-000	1,38 B	0,12 A	2,36	0,19 B	3,00 A	1,41
200-150-000	2,22 A	0,12 A	2,31	0,61 A	2,42 C	1,16
200-150-100	2,19 A	0,12 A	2,75	0,56 A	2,50 BC	1,16
Média	1,75	0,12	2,49	0,37	2,68	1,25
CV (%)	12,58	23,68	17,95	30,11	10,54	17,96

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

CV – coeficiente de variação

Aos 390 DAP (Tabelas 1) os teores de magnésio e de potássio e magnésio aos 620 DAP (Tabela 2) não foram influenciados pelos tratamentos.

Aos 390 dias após o plantio (Tabela 1) o teor de nitrogênio nos cladódios foi maior com a aplicação de NPK (1,47 dag kg<sup>-1</sup>) em comparação com o tratamento sem adição de adubo (1,02 dag kg<sup>-1</sup>) e com apenas P (1,12 dag kg<sup>-1</sup>).

Na colheita, aos 620 DAP (Tabela 2) os tratamentos com (NPK e NP) apresentaram teores maiores de N, 2,19 e 2,22 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente, em comparação ao sem adubação (1,19 dag kg<sup>-1</sup>) e com uso de P (1,38 dag kg<sup>-1</sup>). Em ambas as avaliações a adição de fontes nitrogenadas promoveu aumento na concentração e disponibilidade desse nutriente no solo e, conseqüentemente, maior absorção resultando em maiores teores na matéria seca. Como a adubação foi parcelada e visto que 60% foram aplicados após os 390 dias, justificam-se os maiores teores encontrados aos 620 DAP em relação à primeira avaliação.

Os teores de N encontrados nos tratamentos NPK e NP, em ambos os períodos (Tabelas 1 e 2) se aproximaram dos resultados de Dubeux Júnior et al. (2010) 2,06 dag kg<sup>-1</sup>, resultantes de avaliação dos níveis de fósforo e potássio em casa de vegetação aos 120 dias, com N fixo. Aos 390 e 620 DAP, 1,25 e 1,75 dag kg<sup>-1</sup>, as médias do presente trabalho foram inferiores, respectivamente, às de Dubeux Júnior et al. (2010), entretanto, os autores trabalharam com 400 kg ha<sup>-1</sup> de N em todos os tratamentos. Os valores do presente trabalho superam os de Teles et al. (2004) de 1,19 dag kg<sup>-1</sup>, ao avaliar o efeito da adubação e de nematicida na composição química da palma forrageira, após nove meses de cultivo, em condições de casa de vegetação onde foram utilizados os níveis equivalentes de adubação: N - 200 kg ha<sup>-1</sup>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 100 kg ha<sup>-1</sup>; K<sub>2</sub>O - 200 kg ha<sup>-1</sup>; Ca - 250 kg ha<sup>-1</sup>; Mg - 80 kg ha<sup>-1</sup> e S - 20 kg ha<sup>-1</sup>. Também foram maiores que os resultados de Alves et al. (2007) 1,17 dag kg<sup>-1</sup>, que avaliaram palma forrageira cv gigante, após 19 anos de cultivo com aplicação de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de esterco, a cada dois anos.

Aos 390 DAP (Tabela 1) os teores de fósforos dos tratamentos NPK e NP, 0,09 dag kg<sup>-1</sup>, superaram os teores de P das plantas sem adição de adubo, 0,07 dag kg<sup>-1</sup>. O teor 0,08 dag kg<sup>-1</sup>, resultante do tratamento com uso de apenas P, não diferiu dos demais; aos 620 DAP os tratamentos NPK, NP e P apresentaram teores médios de fósforo de 0,12 dag kg<sup>-1</sup> cada um e diferiram do tratamento sem adubo, 0,08 dag kg<sup>-1</sup>.

A cultura é pouco responsiva à adição de fósforo, o que justifica a semelhança entre teores dos tratamentos com P e sem adubação. No trabalho Dubeux Júnior et al. (2010) a palma cv. Gigante apresentou resposta positiva a P, em solo de textura arenosa e média, apenas com teor de P menor que 10 mg dm<sup>-3</sup>, situação próximo à do presente trabalho, cujo teor de P no solo era de 10,6 mg dm<sup>-3</sup> e com textura média. Entretanto, Donato (2011) encontrou respostas crescentes e acúmulo de P nos cladódios, decorrentes da aplicação de esterco bovino, com valores de P variando de 0,12 a 0,24 dag kg<sup>-1</sup>, para as doses 0 e 90 Mg ha<sup>-1</sup>, em um solo com teor de P de 16,6 mg kg<sup>-1</sup> e textura média. A adição de fontes orgânicas ao solo reduz a capacidade de adsorção de fósforo, aumenta o teor de fósforo disponível e proporciona maior mobilidade no perfil do

solo, de formas orgânicas solúveis de fósforo (POS), quando comparada a aplicações na forma de fertilizantes químicos, para doses semelhantes de fósforo aplicadas (Souza et al., 2006; Novais et al., 2007).

A diferença entre teores de P para os tratamentos NPK e NP e sem adubação, pode ser atribuída ao maior influxo em consequência de interações entre N e P, ampliando a absorção do fósforo. Interação entre N e P na nutrição de algumas culturas é conhecida há algum tempo, sendo a adubação nitrogenada fator de aumento da absorção de P, mesmo em solo com alta disponibilidade deste elemento (Cantarella et al., 2007).

A semelhança dos teores de P nos cladódios entre os tratamentos NPK, NP e P, aos 620 DAP, pode ser atribuída ao crescimento do sistema radicular da cultura em função do tempo melhorando a absorção, por explorar uma área maior, já que o fósforo é pouco móvel no solo e seu transporte preferencial é feito por difusão. Por outro lado, as diferenças em comparação ao tratamento sem adubação, se justificam pela maior disponibilidade de P no solo, em função da adição, o que favoreceu o transporte deste no solo, com aumento da absorção pela planta e maior conteúdo nos tecidos dos cladódios.

Valores de P superiores aos do presente trabalho, foram encontrados por Teles et al. (2002), média de 0,17 dag kg<sup>-1</sup> e Dubeux Júnior et al. (2010), média de 0,47 dag kg<sup>-1</sup>, com limites mínimo e máximo de 0,39 e 0,57 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente, estudando quatro níveis de P (0; 200; 400 e 800 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sem, no entanto, observarem efeito significativo (P>0,05). Os baixos teores de fósforo nos cladódios registrados no presente trabalho podem advir da pequena dosagem utilizada em relação aos outros trabalhos revisados e, também, do fato dos trabalhos serem conduzidos em vasos, cujo nutriente fica mais concentrado na massa de solo e o sistema radicular pode atuar melhor na absorção deste elemento, que é de baixa mobilidade no solo.

Os teores de potássio nos tecidos de cladódios de palma forrageira, com média de 2,44 dag kg<sup>-1</sup> aos 390 DAP, variaram significativamente (P<0,05) com as adubações, independentemente dos espaçamentos adotados (Tabela 1) e não diferiram entre os tratamentos, aos 620 DAP (Tabela 2) com média 2,49 dag kg<sup>-1</sup>.

Aos 390 DAP o teor de K nos cladódios foi menor no tratamento com NP e similar estatisticamente entre as plantas sem adubação, adubadas com NPK e com P. É provável que, quando se aplicou NP, a interação N e P tenha favorecido a absorção de ambos, mesmo porque podem ter transporte via simporte, em que dois íons de sinais contrários, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, são absorvidos juntos. Aliado a isto, o transporte de K<sup>+</sup> e de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (fonte de N, sulfato de amônio, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) de fora para dentro, pode ocorrer também via uniporte, unidirecional, sem troca por outra espécie iônica de mesma carga (Fernandes & Souza, 2006) o que poderia causar concorrência entre os dois, pelo mesmo sítio de absorção e caracterizaria uma inibição competitiva quando o elemento e seu inibidor se combinam com o mesmo sítio do carregador para cruzar a membrana; assim, o elemento presente em maior quantidade, no caso o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, decorrente da aplicação NP, tem maior probabilidade de ocupar os sítios do carregador em detrimento do K<sup>+</sup>, como também é capaz de deslocar o competidor (Malavolta, 2006).



Aos 620 DAP, provavelmente o maior crescimento do sistema radicular e consequente a menor distância íon raiz, aumentam a difusão, transporte preferencial de K, absorção de K e seu conteúdo nos cladódios; assim, os valores de K não diferem entre os tratamentos embora ainda seja menor em valor absoluto no tratamento NP.

De forma geral, a pouca diferença entre os tratamentos para teor de K nos cladódios de palma forrageira (390 DAP) e a semelhança (620 DAP) podem advir das seguintes razões adicionais: do teor médio de K disponível no solo, que antes do plantio era  $53,8 \text{ mg dm}^{-3}$ , o que equivale a  $129,63 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  mais K não trocável. A adição promovida pelos tratamentos foi relativamente pequena,  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  o que, provavelmente, não foi suficiente para alterar significativamente as médias dos teores encontrados nos tecidos, podendo ser comprovado também pelos valores de K no solo, na época das avaliações, menores no tratamento NP: K  $\text{mg dm}^{-3}$  e  $\text{K}_2\text{O kg ha}^{-1}$  - 390 DAP, sem adubação, 54,31 e 130,86; NPK, 51,70 e 124,50; NP, 50,83 e 122,48; P, 58,22 e 140,48; 620 DAP, 51,44 e 123,96; NPK, 57,23 e 137,88; NP, 30,33 e 73,09; P, 49,56 e 119,41. A palma apresenta altos teores de potássio na matéria seca e elevada extração deste nutriente, com valores de  $1.032 \text{ kg ha}^{-1}$  a cada dois anos (Dubeux Júnior & Santos, 2005) e  $922 \text{ kg ha}^{-1}$  (Donato, 2011), esta correspondente a  $394,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de K extraídos para cada  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca. Do exposto infere-se que a baixa resposta ao K pela planta, mesmo sob teores médios no solo e aplicado como adubo, decorre do fato deste elemento não ser limitante no solo uma vez que ocorre reposição para a solução, pela reserva da fase sólida do solo à medida em que é absorvido da solução (Novais & Mello, 2007).

Os valores de K encontrados neste trabalho foram semelhantes aos obtidos por Santos et al. (1990) com  $2,58 \text{ g kg}^{-1}$ , mas inferiores ao resultado de Dubeux Júnior et al. (2010) que trabalharam com quatro níveis de K (0; 200; 400 e  $800 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e encontraram média geral de  $3,34 \text{ dag kg}^{-1}$  com variações de  $1,94$  a  $5,90 \text{ dag kg}^{-1}$ . Nerd et al. (1989) e Teles et al. (2004) encontraram teores médios de K de 3; 4,5 e  $3,31 \text{ dag kg}^{-1}$ , resultados maiores que os do presente trabalho; entretanto, as doses de K utilizadas pelos autores citados são também maiores que as deste trabalho.

Aos 390 DAP, teores de enxofre nos cladódios, foram maiores para os tratamentos que receberam adubação NPK,  $0,43 \text{ dag kg}^{-1}$  e NP,  $0,42 \text{ dag kg}^{-1}$ , comparados ao tratamento sem adubação,  $0,15 \text{ dag kg}^{-1}$  (Tabela 1). Aos 620 DAP (Tabela 2) os teores de enxofre em tecidos de cladódios provenientes dos tratamentos com NPK e NP foram semelhantes entre si,  $0,56$  e  $0,61 \text{ dag kg}^{-1}$ , respectivamente, e maiores que os tratamentos com P e sem adição de adubo,  $0,19$  e  $0,12 \text{ dag kg}^{-1}$ , que foram similares entre si. Apesar da adição de enxofre não ter sido objetivo expresso no trabalho, ao se adicionar as fontes de nitrogênio e fósforo (sulfato de amônio,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 20% de N + 24% de S) e super fosfato simples ( $\text{Ca}(\text{H}_3\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 18% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  + 18% de Ca + 11% de S), indiretamente se adicionou enxofre e este aporte foi maior para os tratamentos NPK e NP, aumentando os teores de enxofre no solo e, em contrapartida, nos tecidos dos cladódios das plantas que receberam esses tratamentos. Os teores de S entre os tratamentos que receberam formulação com

N variaram com as épocas de avaliação; aos 620 DAP os teores foram maiores que aos 390 DAP, fato explicado pela maior taxa de aplicação da adubação nitrogenada (mais adição de enxofre) neste período, pois 60% do total foram feitos após a primeira avaliação.

Os valores médios de enxofre nos tecidos dos cladódios,  $0,22$  e  $0,37 \text{ dag kg}^{-1}$ , observados aos 390 (Tabela 1) e 620 DAP (Tabela 2), respectivamente, são superiores aos valores obtidos por Dubeux Júnior & Santos (2005),  $0,09$  a  $0,19 \text{ dag kg}^{-1}$  para plantas de *Nopalea cochenellifera* em diferentes locais do estado de Pernambuco. Resultados mais próximos aos do presente trabalho são os de Teles et al. (2004), com teores variando de  $0,18$  a  $0,22 \text{ dag kg}^{-1}$  e média de  $0,17 \text{ dag kg}^{-1}$ ; resultados superiores foram encontrados por Dubeux Junior et al. (2010) com teores médios de  $0,59 \text{ dag kg}^{-1}$ .

Os teores de cálcio nos tecidos dos cladódios aos 390 DAP, com média geral de  $1,75 \text{ dag kg}^{-1}$ , diferiram ( $P < 0,05$ ) apenas entre as adubações com P,  $1,93 \text{ dag kg}^{-1}$  e com NP,  $1,65 \text{ dag kg}^{-1}$ , independentemente dos espaçamentos utilizados (Tabela 1); aos 620 DAP (Tabela 2) os teores de cálcio ( $2,82$  e  $3,00 \text{ dag kg}^{-1}$ ) correspondentes aos tratamentos sem adubação e com P, respectivamente, foram semelhantes entre si e maiores que os teores do tratamento com NP ( $2,42 \text{ dag kg}^{-1}$ ). Os tratamentos com NPK e NP conferiram teores semelhantes ( $2,50$  e  $2,42 \text{ dag kg}^{-1}$ ) porém menores que os teores do tratamento com P ( $3,00 \text{ dag kg}^{-1}$ ). Quando se adiciona nitrogênio ao solo, particularmente na forma de  $\text{N-NH}_4^+$ , este elemento atua, reduzindo a absorção de cálcio, fato causador de estiolamento e tombamento de plantas já que o cálcio é responsável pelo enrijecimento das paredes celulares (Malavolta, 2006). Outra inibição competitiva que pode ter ocorrido no tratamento NPK, é  $\text{K}^+ \times \text{Ca}^{2+}$  (Malavolta, 2006) pois o Ca é absorvido pelas raízes como  $\text{Ca}^{2+}$ , podendo ter sua absorção diminuída na presença de altas concentrações de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{NH}_4^+$  no meio de cultivo (Vitti et al., 2006). Esses argumentos explicam o fato de se encontrar menores diferenças nos teores entre os tratamentos aos 390 DAP; até esta época se havia adicionado a menor parte do nitrogênio e do potássio (40%), o que alterou menos a absorção do cálcio. Ao se aplicar o restante dos adubos nitrogenados e potássicos (60%), ocorreu um aumento nos teores de nitrogênio e potássio no solo e, provavelmente, uma inibição na absorção de cálcio resultando em menores teores nos tecidos das plantas de todos os tratamentos que receberam adubação com nitrogênio e potássio.

Destaca-se, ainda, que a dissociação do sulfato de amônio provoca redução no pH do meio, o que decresce a absorção de cálcio. Galizzi et al. (2004) não observaram relação entre o teor de cálcio nos cladódios e seu teor no solo mas, sim, uma relação direta com o pH, visto que, quanto mais alcalino o solo maior foi a concentração de cálcio em tecidos de cladódios de palma forrageira. Também se observou diferença entre os valores dos teores médios aos 390 e 620 DAP com os respectivos valores de  $1,75$  e  $2,68 \text{ dag ha}^{-1}$ . Esses resultados se aproximam dos de Teles et al. (2004) com variação de  $1,56$  a  $2,10$  e média de  $1,84 \text{ dag ha}^{-1}$  e são inferiores aos resultados de Dubeux Júnior et al. (2010) que observaram médias de  $3,44 \text{ dag kg}^{-1}$ .

Os teores de magnésio apresentaram, aos 390 DAP (Tabela 1) média geral de  $0,77 \text{ dag kg}^{-1}$  e não diferiram entre si ( $P < 0,05$ )

em função das diferentes adubações ou espaçamentos; do mesmo modo, não foram percebidas diferenças entre as médias aos 620 DAP (Tabela 2) porém o valor médio geral aumentou para 1,25 dag kg<sup>-1</sup>; a média aos 390 DAP assemelhou-se aos resultados de Dubeux Júnior et al. (2010), 0,74 dag ha<sup>-1</sup>, em avaliações feitas em casa de vegetação, aos 180 DAP. Os resultados de Teles et al. (2004), 0,59 dag kg<sup>-1</sup>, são inferiores aos do presente trabalho. Alves et al. (2007) observaram médias 1,10 dag kg<sup>-1</sup> de magnésio em tecido de palma, sem diferenças significativas. Os valores do presente trabalho se aproximam dos encontrados por Nobel et al. (1987) com teores de magnésio que variaram de 0,64 a 1,42 dag kg<sup>-1</sup> e média de 1,03 dag kg<sup>-1</sup> em plantas da espécie *Opuntia engelmannii* em Coahuila, México.

Em tecido de cladódios de palma forrageira, os teores médios de cálcio e cobre apresentaram, aos 620 DAP, diferenças significativas a (P<0,05) em função dos espaçamentos utilizados, independentemente do tipo de adubação química (Tabela 3).

**Tabela 3.** Média dos teores de cobre (mg kg<sup>-1</sup>) e cálcio (dag kg<sup>-1</sup>), aos 620 dias após o plantio, em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química

**Table 3.** Mean amounts of copper (mg kg<sup>-1</sup>) and calcium (dag kg<sup>-1</sup>), at 620 days after planting, in cladodes tissues of forage cactus grown under different spacings and chemical fertilizers

Espaçamentos (m)	Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	Cálcio (dag kg <sup>-1</sup> )
E <sub>1</sub> - 1,00 x 0,50	4,00 B	2,41 B
E <sub>2</sub> - 2,00 x 0,25	4,95 A	2,85 A
E <sub>3</sub> - 3,00 x 1,00 x 0,25	4,70 A	2,79 A
Média	4,55	2,68
CV (%)	15,48	10,54

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade  
CV - coeficiente de variação

O teor médio geral de cálcio foi de 2,68 dag kg<sup>-1</sup> (Tabela 3). O cálcio apresentou teores variáveis de 2,85 e 2,79 dag kg<sup>-1</sup>, correspondentes aos espaçamentos 2,00 x 0,25 m e 3,00 x 1,00 x 0,25 m, respectivamente, e não diferiram entre si porém foram maiores que o teor 2,41 dag kg<sup>-1</sup> registrado no espaçamento 1,00 x 0,50 m.

As plantas no espaçamento 1,00 m x 0,50 m expressaram teor de cobre no tecido igual a 4,00 mg kg<sup>-1</sup>, inferior (P<0,05) aos teores obtidos em 2,00 m x 0,25 m e 3,00 m x 1,00 m x 0,25 m, com valores de 4,95 e 4,70 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 3).

**Tabela 4.** Média dos teores de micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>) aos 390 dias após o plantio, em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química

**Table 4.** Mean micronutrient levels (mg kg<sup>-1</sup>), at 390 days after planting, in cladodes tissues of forage cactus grown under different spacings and chemical fertilizers

Adubações N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )					
	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	Sódio
000-000-000	17,03 A	11,16	44,41	314,53 B	43,42	42,47
000-150-000	17,29 A	16,64	32,29	362,54 B	41,11	39,35
200-150-000	13,94 B	8,74	37,77	477,31 AB	42,97	46,28
200-150-100	15,04 AB	12,32	37,07	621,71 A	41,94	32,73
Média	15,82	12,22	37,88	444,02	42,36	40,21
CV (%)	14,78	120,96	25,38	30,80	11,23	65,69

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade  
CV - coeficiente de variação

O tecido das plantas de palma cultivadas no espaçamento 1,00 x 0,50 m apresentou menores teores de cálcio e de cobre (Tabela 3). Neste arranjo, as plantas ficam melhor distribuídas na área e os sistemas radiculares mais dispersos, ao se compará-los com os outros dois arranjos que apresentam plantas espaçadas 0,25 m na fileira, o que favorece a existência de maior número de raízes explorando esta área. Como as adubações são direcionadas às fileiras, alterações que favorecem ou inibem a absorção de nutrientes ficam mais concentradas nesta área e influenciam mais quando comparadas ao outro arranjo de plantas, pois diferentes densidades ou arranjo de plantas em uma área podem influenciar a absorção pelas plantas (Novais & Mello, 2007).

Resultados diferentes aos do presente trabalho, foram encontrados por Alves et al. (2007) que não perceberam diferenças (P>0,05) entre as médias de teores de Ca que variaram de 2,44 a 2,79 dag kg<sup>-1</sup> entre os espaçamentos. O teor médio de cálcio no presente trabalho é inferior ao encontrado por Galizzi et al. (2004) com valor de 4,60 dag kg<sup>-1</sup>.

Aos 390 DAP (Tabela 4) os teores de cobre, ferro, zinco e sódio com as respectivas médias 12,22; 37,88; 42,36 e 40,21 mg kg<sup>-1</sup>, não diferiram (P>0,05) em função das adubações; situação semelhante foi registrada aos 620 DAP (Tabela 5) para os teores de boro, ferro e zinco, com médias de 22,43; 45,20 e 65,33 mg kg<sup>-1</sup>.

Nas avaliações aos 390 DAP (Tabela 4) os teores de boro nos cladódios, 17,03 e 17,29 mg kg<sup>-1</sup>, correspondentes aos tratamentos sem adubação e adubado com P, foram semelhantes entre si e maiores que o teor 13,49 mg kg<sup>-1</sup> do tratamento NP. São raros os trabalhos que fazem referência a teores de boro em tecido de palma forrageira. Teor médio maior que o do presente trabalho, 30,3 mg kg<sup>-1</sup> foi encontrado por Donato (2011) avaliando diferentes doses de adubação orgânica na cultura.

Aos 390 DAP (Tabela 4) o teor de manganês, 621,71 mg kg<sup>-1</sup>, correspondente à adubação com NPK, não diferiu de 477,31 mg kg<sup>-1</sup> (NP) e foi maior que os teores dos tratamentos sem adubação (314,53 mg kg<sup>-1</sup>) adubado somente com P (362,54 mg kg<sup>-1</sup>) que foram semelhantes.

Aos 620 DAP (Tabela 5) os teores de manganês, 2.006,06 e 1.761,01 mg kg<sup>-1</sup>, resultantes das adubações com NPK e NP, respectivamente, não diferiram entre si e superaram os teores dos tratamentos sem adubação (984,41 mg kg<sup>-1</sup>) e adubado com P (665,65 mg kg<sup>-1</sup>) que foram similares entre si. Nas

**Tabela 5.** Média dos teores de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), aos 620 dias após o plantio, em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química**Table 5.** Mean micronutrient levels ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), at 620 days after planting, in cladodes tissues of forage cactus grown under different spacings and chemical fertilizers

Adubações N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ )					
	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	Sódio
000-000-000	23,40	4,06 B	40,30	984,41 B	63,89	50,96 A
000-150-000	21,94	4,24 AB	47,06	665,65 B	59,13	41,61 AB
200-150-000	21,71	4,81 AB	44,93	1761,01 A	71,32	32,73 B
200-150-100	22,66	5,11 A	48,49	2006,06 A	67,14	36,47 B
Média	22,43	4,55	45,20	1354,28	65,37	40,44
CV (%)	19,28	15,48	28,91	27,29	13,87	25,72

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade  
CV - coeficiente de variação

duas épocas avaliadas houve diferenças ( $P < 0,05$ ) entre os teores de Mn dos tratamentos que receberam adubação com N comparados aos sem adição de N.

Constatou-se, também, acréscimo de valores dos teores médios de Mn entre as épocas, passando de  $444,02 \text{ mg kg}^{-1}$  aos 390 DAP para  $1.354,28 \text{ mg kg}^{-1}$  aos 620 DAP. A aplicação de Mn localiza da (em sulco) juntamente com fertilizantes formadores de ácidos, é uma prática recomendada por manter o Mn disponível para a planta, por um período maior, antes de sofrer oxidação para formas não disponíveis (Mortvedt, 1991). Na maioria dos casos, o pH do solo é o fator que mais influencia a disponibilidade de Mn para as plantas. A elevação do pH do solo em uma unidade, diminui cerca de 100 vezes a concentração de manganês na solução do solo (Mortvedt, 1991). O uso de sulfato de amônio promove redução do pH no meio, o que aumenta a solubilidade e a consequente absorção do  $\text{Mn}^{2+}$  pelas plantas, fato que explica as diferenças entre tratamentos e épocas, pois na fase final a adubação nitrogenada foi mais intensa 60%, o que pode ser comprovado pela comparação do pH antes do plantio (5,33) e após as aplicações na época das avaliações: pH - 390 DAP, sem adubação, 5,34; NPK, 5,21; NP, 5,18; P, 5,38; 620 DAP, 4,99; NPK, 4,29; NP, 4,16 e P, 4,78. Notar os menores valores de pH nos tratamentos que receberam sulfato de amônio (NPK e NP) e a diminuição de valores de pH aos 620 DAP, tanto devido à adubação nitrogenada quanto à absorção de nutrientes pela cultura, com consequente extrusão de prótons.

Em avaliação feita aos 180 DAP com palma cv Clone IPA-20, Dubeux Júnior et al. (2010) não constataram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) para os teores de Mn com média geral de  $686,87 \text{ mg kg}^{-1}$ , superiores às do presente trabalho ( $444,02 \text{ mg kg}^{-1}$ ) aos 390 DAP.

Aos 620 DAP (Tabela 5) o tratamento NPK com teores de cobre de  $5,11 \text{ mg kg}^{-1}$  foi superior a  $4,06 \text{ mg kg}^{-1}$ , referente ao tratamento sem adubação. A média desses teores,  $4,55 \text{ mg kg}^{-1}$  para os diferentes tipo de adubação, foram menores que os resultados de Dubeux Junior et al. (2010),  $6,5 \text{ mg kg}^{-1}$  e maiores que os de Galizzi et al. (2004),  $2,9 \text{ mg kg}^{-1}$ . Contudo, esses teores são inferiores aos resultados médios dos 390 DAP,  $12,22 \text{ mg kg}^{-1}$ . A maior absorção de manganês observada aos 620 DAP pode ter reduzido a absorção de cobre, justificando o observado. A presença elevada de íons metálicos, como Fe, Mn e Al, reduz a disponibilidade de cobre para as plantas (Aref, 2011).

Os teores de ferro nas duas épocas de avaliação (Tabelas 4 e 5) com médias de  $37,88$  e  $45,20 \text{ mg kg}^{-1}$ , são inferiores aos estimados por Nobel et al. (1987),  $73 \text{ mg kg}^{-1}$ , em trabalho realizado no Texas, e aos obtidos por Dubeux Júnior et al. (2010) média de  $84,54 \text{ mg kg}^{-1}$  sem diferenças, em função dos tratamentos.

Os teores de zinco nas avaliações (Tabelas 4 e 5) expressaram médias gerais de  $42,36$  e  $65,37 \text{ mg kg}^{-1}$ . Também Dubeux Júnior et al. (2010) não encontraram diferenças entre as médias dos teores de zinco porém a média geral dos teores,  $108,58 \text{ mg kg}^{-1}$ , foi bem maior que as constatadas no presente trabalho. Valores inferiores foram determinados por Nobel et al. (1987) média de  $31,00 \text{ mg kg}^{-1}$  em tecidos de *Opuntia engelmannii*.

As médias gerais de teores de sódio nos tecidos dos cladódios são praticamente iguais,  $40,21 \text{ mg kg}^{-1}$  aos 390 DAP (Tabela 4) e  $40,44 \text{ mg kg}^{-1}$  aos 620 DAP (Tabela 5); entretanto, nesta última avaliação o teor de sódio ( $50,96 \text{ mg kg}^{-1}$ ) resultante do tratamento sem adubação, foi maior ( $P < 0,05$ ) que os teores  $36,47$  e  $32,73 \text{ mg kg}^{-1}$ , referentes aos tratamentos NPK e NP, respectivamente, que foram semelhantes entre si. Média semelhante às do presente trabalho foi encontrada por Galizzi et al. (2004),  $38,0 \text{ mg kg}^{-1}$ , em trabalho conduzido na Argentina. Apesar do Na geralmente não ser considerado essencial às plantas, Epstein & Bloom (2006) informam, em sua revisão, que o Na é micronutriente para plantas com via CAM de fixação de carbono, como a palma forrageira, pois é essencial para a regeneração do fosfoenolpiruvato, o substrato da primeira carboxilação nessa via. Ainda segundo esses autores, a deficiência de Na induz, nessas plantas, clorose e necrose além de falha na formação de flores.

Ocorreu variação percentual positiva (Tabela 6) entre os teores dos nutrientes em função da época de avaliação, na seguinte ordem: Macronutrientes - magnésio ( $62,33$ ) > cálcio ( $53,14$ ) > fósforo ( $50,00$ ) > nitrogênio ( $40,00$ ) > enxofre ( $23,33$ ); Micronutrientes - manganês ( $205$ ) > zinco ( $54,32$ ) > boro ( $51,76$ ) > ferro ( $19,29$ ) > sódio ( $0,57$ ).

O cobre apresentou redução nos teores, na ordem de  $168,57\%$ , e o potássio praticamente não apresentou variação em seus teores, em função da época de avaliação ( $-0,08\%$ ); aos 390 DAP, porém, os nutrientes estimados apresentaram a seguinte ordem de grandeza de acúmulo em cladódios de palma forrageira: macronutrientes - potássio > cálcio > nitrogênio > magnésio > enxofre > fósforo; micronutrientes -



**Tabela 6.** Médias gerais dos teores de macronutrientes ( $\text{dag kg}^{-1}$ ), micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e variação percentual, VM, (%), avaliadas aos 390 e 620 dias após plantio (DAP) e extração média ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na colheita em tecidos de cladódios de palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química

**Table 6.** Overall means of macronutrient contents ( $\text{dag kg}^{-1}$ ), micronutrients ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), percentage change, VM (%), evaluated at 390 and 620 days after planting (DAP) and mean extraction ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) at harvest, in cladodes tissues of forage cactus grown under different spacings and chemical fertilizers

Nutrientes	Média aos 620 DAP	CV (%) 620 DAP	Média aos 390 DAP	CV (%) 390 DAP	VM (%)	Extração ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) 620 DAP
Nitrogênio	1,75	12,58	1,25	19,66	40,00	299,25
Fósforo	0,12	23,68	0,08	14,71	50,00	20,52
Potássio	2,49	17,95	2,51	11,14	- 0,80	425,79
Enxofre	0,37	30,11	0,30	50,10	23,33	63,27
Cálcio	2,68	10,54	1,75	11,91	53,14	458,28
Magnésio	1,25	17,96	0,77	10,25	62,33	213,75
Boro	22,43	19,28	15,82	14,78	51,76	0,38
Cobre	4,55	15,48	12,22	120,96	- 168,57	0,08
Ferro	45,20	28,91	37,89	25,38	19,29	0,77
Manganês	1.354,28	27,29	444,02	30,80	205,00	23,16
Zinco	65,37	13,87	42,36	11,23	54,32	1,12
Sódio	40,44	25,72	40,21	65,69	0,57	0,69

CV - coeficiente de variação

VM - Variação das médias entre 390 e 620 DAP

**Tabela 7.** Produção de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) avaliada aos 620 DAP, em cultura de palma forrageira submetida a diferentes espaçamentos e adubações química

**Table 7.** Dry matter production ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), evaluated at 620 days after planting (DAP) in forage cactus grown under different spacings and chemical fertilizers

Espaçamento (m)	Tipos de adubação N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O ( $\text{kg ha}^{-1}$ )				CV (%)
	000-000-000	000-150-000	200-150-000	200-150-100	
E <sub>1</sub> - 1,00 x 0,50	13,40 bB	19,38 aA	20,87 aA	22,73 aA	
E <sub>2</sub> - 2,00 x 0,25	18,11 aA	14,87 aA	16,12 aB	18,24 aB	15,36
E <sub>3</sub> - 3,00 x 1,00 x 0,25	14,13 aAB	16,05 aA	15,67 aB	15,68 aB	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade

manganês > zinco > sódio > ferro > boro > cobre; aos 620 DAP o cálcio expressou o primeiro e o potássio o segundo maior teor, sem alteração na ordem dos demais macronutrientes. Também houve alteração na distribuição dos micronutrientes, em que o ferro inverteu a posição com o sódio fato justificado provavelmente pela alto CV (65%). Relação semelhante para os micronutrientes foi encontrada por Dubeux Júnior et al. (2010) só que o autor não avaliou boro nem sódio.

Ao avaliar a extração total de nutrientes aos 620 DAP, verifica-se que o macronutriente mais extraído foi o cálcio, com  $458,28 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido por potássio ( $425,79 \text{ kg ha}^{-1}$ ), nitrogênio ( $299,25 \text{ kg ha}^{-1}$ ), magnésio ( $213,75 \text{ kg ha}^{-1}$ ), enxofre ( $63,27 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e fósforo ( $20,52 \text{ kg ha}^{-1}$ ) nesta ordem.

As produções de matéria seca quantificadas aos 620 DAP, na época da colheita, foram dependentes das interações ( $P < 0,05$ ) entre os espaçamentos de plantio e tipos de adubação química utilizados (Tabela 7).

A produtividade média de matéria seca foi  $17,10 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 7). As plantas sob espaçamento  $1,00 \times 0,50$  com NPK, NP e P produziram mais matéria seca ( $P < 0,05$ ) que as plantas sem adubação. Nos espaçamentos  $2,0 \times 0,25 \text{ m}$  e  $3,0 \times 1,0 \times 0,25 \text{ m}$  a produção de matéria seca foi semelhante para as diferentes adubações.

As plantas sem adubação produziram mais matéria seca ( $P < 0,05$ ) no espaçamento  $2,0 \times 0,25 \text{ m}$ , comparado ao  $1,0 \times 0,5 \text{ m}$  (Tabela 7). As plantas adubadas com NPK e NP produziram maior quantidade de matéria seca sob espaçamento  $1,0 \times 0,5 \text{ m}$  e quando adubadas apenas com P foram similares nos três espaçamentos. Dubeux Júnior et al. (2006) constataram

influência da população de plantas na produtividade, em várias localidades, com MS variando de  $6$  a  $17 \text{ Mg ha}^{-1}$  com  $5.000$  plantas ( $2,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$ ) e de  $17,8$  a  $33,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  em  $40.000$  plantas  $\text{ha}^{-1}$  ( $1,00 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$ ). Alves et al. (2007) obtiveram  $5,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS, sem efeito de espaçamento, com  $5.000$  e  $10.000$  plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Avaliando adubações com P e K em palma cv. Clone IPA-20, Dubeux Júnior et al. (2010) constataram efeito de K na produção de massa verde e matéria seca.

## CONCLUSÕES

Não ocorreram interações entre as adubações e espaçamentos para teores de nutrientes em tecidos de palma cv gigante, apenas para produção de matéria seca aos 620 dias após plantio.

Adubações com NPK e NP reduzem os teores de Ca e Na e aumentam os teores de N, P, S e Mn, nos tecidos de cladódios de palma cv gigante.

Adubação com NP reduz o teor de K e a adubação com P aumenta o teor de P nos cladódios comparado ao tratamento sem adubação.

As extrações de potássio e nitrogênio foram maiores que as quantidades adicionadas via adubações testadas, indicando sua insuficiência para atender à demanda da planta.

As adubações elevaram os teores de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, melhorando o valor nutricional e no espaçamento  $1,00 \times 0,50 \text{ m}$  aumentaram a produção de matéria seca da palma cv gigante, aos 620 após o plantio.



## LITERATURA CITADA

- Alves, R. N.; Farias, I.; Menezes, R. S. C.; Lira, M. de A.; Santos, D. C. dos. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intensidades de corte e espaçamentos. *Revista Caatinga*, v.20, n.4, p.38-44, 2007. <<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/38/219>>. 12 Jun. 2012.
- Aref, F. Iron, copper and manganese concentration in maize leaf as influenced by soil and foliar application of zinc sulfate and boric acid. *International Journal of Academic Research*, v.3, n.2, p.1080-1087, 2011. <<http://www.ijar.lit.az/en.php?go=march2011>>. 12 Jun. 2012.
- Cantarella, H. Nitrogênio. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. V. H.; Barros, N. F.; Fontes, L. E. F.; Neves, J. C. L. (eds.). *Fertilidade do Solo*. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.376-470.
- Donato, P. E. R. Avaliação bromatológica, morfológica, nutricional e de rendimento em palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. Itapetinga-BA: UESB, 2011. 134p. Tese Doutorado.
- Dubeux Junior, J. C. B.; Araújo Filho, J. T.; Santos, M. V. F. dos.; Lira, M. de A.; Santos, D. C. dos; Pessoa, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.1, p.129-135, 2010. <[http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=agraria\\_v5i1a591](http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=agraria_v5i1a591)>. 12 Jun. 2012. doi:10.5039/agraria.v5i1a591.
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F. dos; Lira, M. de A.; Santos, D. C. dos; Farias, I.; Lima, L. E.; Ferreira, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L) Miller under different N and P fertilization and plant population in northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.67, n.3, p.357-372, 2006. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196306000784>>. 12 Jun. 2012. doi:10.1016/j.jaridenv.2006.02.015.
- Dubeux Junior, J. C. B.; Santos, M. V. F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E. V. S. B. (eds.). *A Palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 2.ed.. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p.105-128.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- Fernandes, M. S.; Souza, S. R. Absorção de nutrientes. In: Fernandes, M. S. (ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.115-152.
- Galizzi, F. A.; Felker, P.; González, C. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in Argentina. *Journal of Arid Environments*, v.59, n.1, p.115-132, 2004. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196304000254>>. 12 Jun. 2012. doi:10.1016/j.jaridenv.2004.01.015.
- Malavolta, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. Editora Ceres Ltda. 2006. 638p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. *Avaliação do estado Nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- Melo, A. A. S.; Ferreira, M. A.; Verás, A. S. C.; Lira, M. de A.; Lima, L. E. de; Vilela, M. da S.; Melo, E. O. S. de; Araújo, P. R. B. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em dietas para vacas em lactação. I. Desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.3, p.727-736, 2003. <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982003000300025&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982003000300025&script=sci_arttext)>. 12 Jun. 2012. doi:10.1590/S1516-35982003000300025.
- Mortvedt, J. J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes: presença de elementos tóxicos. In: Ferreira, M. E.; Cruz, M. C. P.; Raij, B. van; Abreu, C. A. (eds.). *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 237-251.
- Nerd, A.; Karady, A.; Mizrahi, Y. Irrigation, fertilization and polyethylene covers influence bud development in prickly pear. *Hort Science*, v.24, n.5, p.773-775, 1989. <[http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNABN164.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABN164.pdf)>. 12 Jun. 2012.
- Nobel, P. S.; Russel, L. E.; Felker, P.; Fernandes, A. P. M.; Freitas, E. V.; Moreira, J. A.; Medina, J. G.; Acunã, E. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. *Agronomy Journal*, v.79, n.3, p.550-555, 1987. <<https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/79/3/AJ0790030550>>. 12 Jun. 2012. doi:10.2134/agronj1987.00021962007900030030x.
- Novais, R. F.; Mello, J. W. V. Relação solo-planta. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, L. E. F.; Neves, J. C. L. (eds.). *Fertilidade do Solo*. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.133-204.
- Novais, R. F.; Smyth, T. J.; Nunes, F. N. Fósforo. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, L. E. F.; Neves, J. C. L. (eds.). *Fertilidade do Solo*. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 472-550.
- Oliveira, F. T. de; Souto, J. S.; Silva, R. P. da; Andrade Filho, F. C.; Pereira Júnior, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. *Revista Verde*, v.5, n.4, p.27-37, 2010. <[http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/336/pdf\\_7](http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/336/pdf_7)>. 12 Jun. 2012.
- Oliveira, J. P. F.; Barreto, M. L. de J.; Lima Júnior, D. M.; Aguiar, E. M.; Silva, T. O. Algarobeira (*Prosopis juliflora*): uma alternativa para alimentação de ovinos no nordeste brasileiro. *Revista Verde*, v.5, n.2, p.1-4, 2010a. <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/266/266>>. 12 Jun. 2012.
- Santos, M. V. F. dos; Lira, M. de A.; Farias, I.; Burity, H. A.; Nascimento, M. M. A.; Santos, D. C.; Tavares Filho, J. J. Estudo comparativo das cultivares de palma forrageira “Gigante”, “Redonda” (*Opuntia ficus-indica* Mill) e “Miúda” (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dick) na produção de leite. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.19, n.6, p.504-511, 1990.

- Souza, R. F.; Faquim, V.; Torres, P. R. F.; Baliza, D. P. Calagem e adubação orgânica: influencia na adsorção de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.6, p.975-983, 2006. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832006000600007&lng=en&nrm=iso&tIng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000600007&lng=en&nrm=iso&tIng=pt)>. 12 Jun. 2012. doi:10.1590/S0100-06832006000600007.
- Teles, M. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Bezerra Neto, E.; Ferreira, R. L. C.; Lucena, J. E. C.; Lira, M. de A. Efeitos da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cv. Gigante. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.52-60, 2002. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982002000100006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982002000100006)>. 12 Jun. 2012. doi:10.1590/S1516-35982002000100006.
- Teles, M. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Lira, M. A.; Ferreira, R. L. C.; Bezerra Neto, E. C.; Farias, I. Efeito da adubação e do uso de nematicida na composição química da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33 n.6, p.1992-1998, 2004. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982004000800010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982004000800010)>. 12 Jun. 2012. doi:10.1590/S1516-35982004000800010.
- Vitti, G. C.; Lima, E.; Cicarone, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: Fernandes, M. S. (ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.281-298.