



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CRESCIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DA *Opuntia ficus-indica* (L) Mill (PALMA FORRAGEIRA) EM FUNÇÃO DE ARRANJOS POPULACIONAIS E ADUBAÇÃO FOSFATADA**

**FRANCISCO TOMAZ DE OLIVEIRA**

PATOS – PARAÍBA  
2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CRESCIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DA *Opuntia ficus-indica* (L) Mill (PALMA FORRAGEIRA) EM FUNÇÃO DE ARRANJOS POPULACIONAIS E ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração Sistemas Agrosilvipastoris no Semi-árido, para obtenção do título de mestre.

Francisco Tomaz de Oliveira

Orientador: Prof. Jacob Silva Souto, Dr.

PATOS – PARAÍBA  
2008

O48c  
2008

Oliveira, Francisco Tomaz de.

Crescimento do sistema radicular da *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (palma forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada. Patos – PB: CSTR UFCG, 2008.

76p: il.

Inclui bibliografia.

Orientador: Jacob Silva Souto.

Dissertação (Pós-Graduação em Zootecnia – Sistemas Agrosilvipastoris no Semi-árido). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.

1– Palma forrageira – sistema radicular - Dissertação.

CDU: 582.852



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**PROVA DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO**

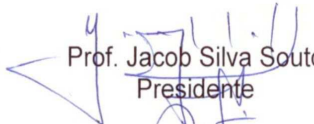
**TÍTULO:** "*Crescimento do sistema radicular da *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (palma forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada*".


**AUTOR:** Francisco Tomaz de Oliveira

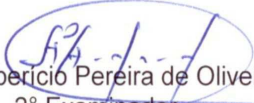
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Jacob Silva Souto

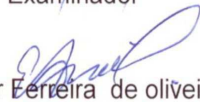
**JULGAMENTO**

**CONCEITO:** APROVADO

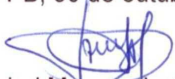
  
Prof. Jacob Silva Souto  
Presidente

  
Prof. Francisco de Assis Fonseca de Macêdo  
1º Examinador

  
Prof. Albercio Pereira de Oliveira  
2º Examinador

  
Prof. Éder Ferreira de Oliveira  
3º Examinador

Patos - PB, 30 de outubro de 2008

  
Prof. Aderbal Marcos de Azevêdo Silva  
Coordenador

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Joaquim de Oliveira (in memorian) e Terezinha Maria de Oliveira (in memorian), pelas lições de vida e não medirem esforços para me proporcionarem a oportunidade de ir ao encontro do meu sonho.

A minha esposa Luzineida Ferreira Alves de Oliveira, pelo amor, estímulo, compreensão, paciência e acima de tudo pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus filhos, Hilário, Daniel e Danielle, luzes da minha vida, pela compreensão e confiança.

Aos meus avós maternos, José de Sousa Dias (in memorian) e Josefa Maria da Conceição (in memorian), meus padrinhos queridos, por me ensinarem o melhor caminho a seguir na vida.

Aos meus irmãos, Afonso, Gerson, Joaquim, José Nilton, Maria das Neves e Severino, pela confiança.

A minha tia Rosena Alves Pires, pelo apoio incondicional nos primeiros passos da minha vida profissional.

A sabedoria, árvore da vida.

“Feliz quem achou a sabedoria e  
alcançou o entendimento. Pois  
adquiri-la vale mais que ter prata  
e seu rendimento supera o ouro fino”

provérbios 3; 13-14

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que na sua infinita misericórdia sempre me deu forças para enfrentar e vencer todos os obstáculos.

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, por me proporcionar esta oportunidade.

Ao Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Dr. Aderbal Marcos de Azevedo Silva, pelo apoio e confiança.

Ao Prof. Jacob Silva Souto, a quem pela força do exemplo despertou em mim um sentimento profundo de respeito e admiração. Muito obrigado, pela paciência, confiança e valiosa orientação.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, que além do compromisso de ministrarem conhecimentos foram comprometidos com os valores fundamentais da civilização: ética, solidariedade, liberdade, cidadania e justiça.

À Escola Agrotécnica Federal de Sousa-PB (EAFS), na pessoa do seu Diretor-Geral Francisco Cicipira de Andrade e Silva, pela confiança, apoio e liberação.

Aos servidores da EAFS, Hermano Rolim, Miguel Wanderley e Ednaldo Barbosa Júnior, pelo apoio indispensável nas análises de solo do projeto.

Ao Prof. Oscar Mariano Hafle, pelo apoio na pesquisa de artigos científicos.

À professora Rosângela Vieira Freire, pelo apoio essencial na tarefa de revisão ortográfica.

Ao colega Dorgival Assis Gadelha, pela valiosa colaboração nos serviços computacionais.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia-2007, Albimah, Anderson, Ângelo, Carpegiani, Dario, Katiúscia, Lourenço, Luciana, Maésia, Márcia e Maurício, Rayanne e Rênio, pelo apoio e companheirismo constante.

Aos colegas Albimah Medeiros e José Pereira, pelo trabalho de equipe e dedicação durante a execução do experimento.

Ao colega Sigismundo Gonçalves Souto Maior Júnior, pelo apoio constante.

Aos professores da banca examinadora, pelas valiosas contribuições as quais foram fundamentais para o aprimoramento da versão final do trabalho.

Ao Dr. Paulo Suassuna, por acreditar que a palma forrageira é viável em todo semi-árido brasileiro.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

	Páginas
Lista de Tabelas.....	i
Lista de Figuras .....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 Aspectos da Cultura da palma forrageira .....	03
2.1.1 Origem e distribuição geográfica .....	03
2.1.2 Características botânicas .....	03
2.1.3 Exigências edafoclimáticas .....	04
2.1.4 Adaptações às zonas áridas e semi-áridas .....	06
2.2 Importância da palma forrageira para o semi-árido brasileiro .....	08
2.3 Importância do sistema radicular e a influência do fósforo no seu desenvolvimento.....	10
2.4 Influência do espaçamento na cultura da palma forrageira.....	14
2.5 Metodologias usadas para avaliação radicular .....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Área experimental .....	19
3.2 Preparação da área experimental.....	20
3.3 Instalação e condução do experimento.....	21
3.4 Coleta de amostras de solo .....	23
3.5 Delineamento experimental e análise estatística .....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.1 Análise de regressão, para distribuição radicular da palma forrageira, aos 120 dias após o plantio .....	26
4.1.1 Comprimento radicular na linha de plantio .....	26
4.1.2 Densidade radicular na linha de plantio .....	27
4.2 Análise de regressão, para distribuição radicular da palma forrageira, aos 240 dias após o plantio .....	28
4.2.1 Comprimento radicular na linha e entrelinha de plantio .....	29
4.2.2 Densidade radicular na linha e entrelinha de plantio.....	30
4.3 Análise de regressão, para distribuição radicular da palma forrageira, aos 360 dias após o plantio. ....	32
4.3.1 Comprimento radicular na linha e entrelinha de plantio .....	32
4.3.2 Densidade radicular na linha e entrelinha de plantio.....	33
4.4 Valores médios de densidade radicular da palma forrageira.....	35
4.5 Distribuição radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 120 dias após o plantio.....	36
4.6 Distribuição radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 240 dias após o plantio.....	39
4.7 Distribuição radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 360 dias após o plantio.....	43



4.8 Distribuição radicular da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 120 dias após o plantio.....	46
4.9 Distribuição radicular da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 240 dias após o plantio.....	48
4.10 Distribuição radicular da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 360 dias após o plantio.....	51
5. CONCLUSÕES .....	54
6. REFERÊNCIAS .....	55
7. APÊNDICES .....	68
7.1 Apêndice A	
Quadros dos resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para a distribuição radicular da palma forrageira, aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples. ....	68
7.2 Apêndice B	
Quadros dos resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para a distribuição radicular da palma forrageira, aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples. ....	71
7.3 Apêndice C	
Quadros dos resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para a distribuição radicular da palma forrageira, aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples. ....	74

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabelas</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	Pluviosidade (mm) ocorrida na área de estudo, nos últimos doze anos.....	19
<b>2</b>	Atributos químicos e físicos do solo da área experimental.	20
<b>3</b>	Espaçamento entre plantas (E) e doses de superfosfato simples (SS) no cultivo da palma forrageira em Patos-PB.....	25
<b>4</b>	Esquema de análise de variância (ANOVA) do experimento.	25
<b>5</b>	Valores médios de densidade radicular (DR) da palma forrageira, na linha e entrelinha de plantio, em função da época e profundidade da amostragem.....	35
<b>6</b>	Comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 120 dias após o plantio (DAP).....	37
<b>7</b>	Densidade radicular (DR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 120 dias após o plantio (DAP).....	37
<b>8</b>	Comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 240 dias após o plantio (DAP).....	40
<b>9</b>	Densidade radicular (DR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 240 dias após o plantio (DAP).....	40
<b>10</b>	Valores de umidade do solo nas diferentes épocas de amostragem.....	42

<b>11</b>	Comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 360 dias após o plantio (DAP).....	43
<b>12</b>	Densidade radicular (DR) de palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 360 dias após o plantio (DAP).....	44
<b>13</b>	Comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função dos espaçamentos entre plantas (E), aos 120 dias após o plantio (DAP).....	46
<b>14</b>	Densidade radicular (DR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função dos espaçamentos entre plantas (E), aos 120 dias após o plantio (DAP).....	46
<b>15</b>	Comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função dos espaçamentos entre plantas (E), aos 240 dias após o plantio (DAP).....	49
<b>16</b>	Densidade radicular (DR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função dos espaçamentos entre plantas (E), aos 240 dias após o plantio (DAP).....	49
<b>17</b>	Comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função dos espaçamentos entre plantas (E), aos 360 dias após o plantio (DAP).....	51
<b>18</b>	Densidade radicular (DR) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função dos espaçamentos entre plantas (E), aos 360 dias após o plantio (DAP).....	52

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
<b>1</b> Preparo da área para o plantio da palma forrageira: subsolagem (a), gradagem (b), sulcamento (c) e adubação orgânica (d).....	20
<b>2</b> Croqui da área experimental: área total (a) e da parcela (b).....	21
<b>3</b> Plantio da palma forrageira: raquetes em repouso (a) e plantio (b).....	22
<b>4</b> Coleta e análise das amostras de solo: linha (a), entrelinha (b), acondicionamento (c) e contagem de raízes (d).....	24
<b>5</b> Efeito das doses de superfosfato simples (SS) no comprimento radicular (CR) da palma forrageira, na linha de plantio (0 – 10 cm e 10 – 20 cm), aos 120 dias após o plantio (DAP).....	26
<b>6</b> Efeito das doses de superfosfato simples (SS) na densidade radicular (DR) da palma forrageira, na linha de plantio (0 – 10 e 10 – 20 cm), aos 120 dias após o plantio (DAP).....	27
<b>7</b> Efeito das doses de superfosfato simples(SS) no comprimento radicular (CR) da palma forrageira, na linha de plantio (10 – 20 cm) aos 240 dias após o plantio (DAP).....	29
<b>8</b> Efeito dos espaçamentos entre plantas (E) no comprimento radicular (CR) da palma forrageira, na entrelinha de plantio (10 – 20 cm), aos 240 dias após o plantio (DAP).....	29
<b>9</b> Efeito das doses de superfosfato simples (SS) na densidade radicular (DR) da palma forrageira, na linha de plantio (10 – 20 cm), aos 240 dias após o plantio (DAP).....	30

<b>10</b>	Efeito dos espaçamentos entre plantas (E) na densidade radicular (DR) da palma forrageira, na entrelinha de plantio (10 – 20 cm), aos 240 dias após o plantio (DAP).....	30
<b>11</b>	Efeito das doses de superfosfato simples (SS) no comprimento radicular (CR) da palma forrageira, na linha de plantio (10 – 20 cm), aos 360 dias após o plantio (DAP).....	32
<b>12</b>	Efeito dos espaçamentos entre plantas (E) no comprimento radicular (CR) da palma forrageira, na entrelinha de plantio (10 – 20), aos 360 dias após o plantio (DAP).....	32
<b>13</b>	Efeito das doses de superfosfato simples (SS) na densidade radicular (DR) da palma forrageira, na linha de plantio (10 – 20 cm), aos 360 dias após o plantio (DAP).....	33
<b>14</b>	Efeito dos espaçamentos entre plantas (E) na densidade radicular (DR) da palma forrageira, na entrelinha de plantio (10 – 20 cm), aos 360 dias após o plantio (DAP).....	34

OLIVEIRA, F.T. de. Crescimento do sistema radicular da *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (palma forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada. Patos, PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2008. 76f. (Dissertação-Mestrado em Zootecnia-Sistemas Agrosilvipastoris no semi-árido)

## RESUMO

Este trabalho, conduzido no Núcleo de Pesquisas para o Semi-árido, CSTR/UFCG-Patos-PB, no período de janeiro de 2007 a janeiro de 2008, teve como objetivo avaliar o efeito das doses de fósforo e espaçamento variáveis sobre o desenvolvimento radicular da palma forrageira. O experimento foi instalado obedecendo ao delineamento em blocos casualizados no esquema fatorial 4x4, sendo quatro doses de superfosfato simples (10 ; 15 ; 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup>) e quatro espaçamentos entre plantas (10 ; 15 ; 20 e 25 cm) com três repetições. Amostras de solo foram coletadas na linha e entrelinha de plantio, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, em três épocas diferentes. Foram avaliados o comprimento e a densidade de raízes. Na determinação do comprimento de raízes, foi utilizado o método de Tennant. Os dados analisados permitiram concluir que: a maior concentração de raízes da palma forrageira ocorreu na camada superficial do solo; os espaçamentos e as doses de superfosfato simples não interferiram na distribuição radicular, na linha e entrelinha de plantio, respectivamente; a interação entre espaçamentos e doses de superfosfato simples não influenciou a distribuição radicular; a distribuição e a variação estacional da quantidade de raízes da palma forrageira apresentaram-se como características estreitamente relacionadas com a capacidade de adaptação ao estresse hídrico.

**Palavras-chave:** Cactácea, Cladódio, Método de Tennant, Região Semi-árida.

OLIVEIRA, F.T. de. Root system's growth of the *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (cactus pear) on the basis of population arrangements and phosphate fertilization. Patos, PB: Federal University of Campina Grande, 2008. 76f. (Dissertation - Master's Degree in Zootecnia)

### ABSTRACT

The research was conducted in the Nucleus of Searches for the Semi-arid, CSTR/UFCG-Patos-PB, during the period of January- 2007 to January- 2008, to evaluate the effect of phosphorus levels and variable spacing on the root development of cactus pear. The experiment was installed following the randomized block design in a factorial 4 x 4, with four doses of single superphosphate (10; 15; 20 and 25 g.SS.plant<sup>-1</sup>) and four spacing between plants (10; 15; 20 and 25 cm) with three replicates. Soil samples were collected on line and between planting, at depths of 0 to 10 cm and 10 to 20 cm, in three different seasons. Evaluations were conducted in length and density of roots. In determination of the length of roots, the Tennant method was used. The data analyzed showed that: the highest concentration of roots in the cactus pear occurred in the surface layer of soil; the spacing and doses of single superphosphate didn't interfered in the root distribution, in the line between planting, respectively; the interaction between spacing and doses of single superphosphate didn't influence the root distribution, the distribution and seasonal variation in the amount of roots of the cactus pear presented characteristics closely related to the ability to adapt to water stress.

**Keywords:** Cactaceae, Cladodes, Tennant method, Semi-arid region

## 1 INTRODUÇÃO

As regiões, climaticamente, definidas como áridas e semi-áridas, representam aproximadamente 48 milhões de km<sup>2</sup>, distribuídas em 2/3 dos países do mundo, onde vive uma população estimada em 630 milhões de pessoas. Nestas, o fenômeno da seca é normal e causa sérios prejuízos ao setor agropecuário.

O futuro desses ecossistemas depende do manejo sustentável de sistemas agrícolas fundamentados no uso de cultivos adaptados às suas condições. A geração de tecnologias capazes de contribuir no processo de transformação desta realidade passa necessariamente pela exploração de culturas mais apropriadas a suportarem as condições de falta de água, altas temperaturas, solos de baixa fertilidade que exijam poucos insumos, fácil manejo no plantio e que forneçam alimento e forragem para a agricultura de subsistência.

No Brasil, a faixa territorial considerada como semi-árida, abrange uma área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, representando 11,39% do território brasileiro e 60% da região Nordeste (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2005). Esta área é caracterizada por apresentar solos rasos de média a alta fertilidade, escassez e irregularidade das chuvas, que causam severos danos à economia regional com custos sociais elevados.

Uma das principais atividades desenvolvidas na região Nordeste do Brasil é a pecuária, com destaque para os rebanhos bovino, ovino e caprino, que no geral são criados extensivamente, alimentando-se da vegetação nativa e apresentando baixos índices de produtividade.

A palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill), cuja área cultivada no Brasil alcança cerca de 550.000 ha (ARAÚJO et al., 2005), aparece neste contexto como uma alternativa de cultivo, adaptada ao clima semi-árido, visto ser uma cultura com mecanismo fisiológico especial no que se refere à absorção, aproveitamento e perda de água. A sua importância, como reserva forrageira, é significativa na sustentabilidade da pecuária regional, segmento fortemente atingido pela escassez de alimentos. Esta planta de múltiplos usos pode se tornar uma alternativa econômica para a região, pela variedade de produtos e subprodutos que se pode extrair.

Na Paraíba, em especial na região fisiográfica do sertão, o cultivo da palma forrageira, como recurso alimentar para os animais, ainda é incipiente, necessitando de incentivo para o seu plantio, onde o produtor rural utilize esta cultura como opção na alimentação do seu rebanho, principalmente, na época da falta de pastos.



É inegável o potencial significativo desta cultura para contribuir no desenvolvimento das zonas áridas e semi-áridas, sobretudo, nos países em desenvolvimento, onde a exploração racional e econômica de suas espécies ajudará na conservação do meio ambiente e segurança alimentar dos rebanhos (CHIACCHIO et al., 2006).

A palma forrageira teve o seu rendimento em matéria seca afetado pela interação, densidade de plantas e adubação fosfatada (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006). O fósforo, sendo considerado um nutriente essencial às plantas, tem como uma das suas funções promover o desenvolvimento radicular, o que contribui para uma maior absorção de água e nutrientes.

O espaçamento de plantio na cultura da palma forrageira tem importância no seu sistema de produção. O seu efeito na absorção da luz solar, eficiência fotossintética e em outros fatores de produção, influi no desenvolvimento e produtividade da cultura. A prática do plantio adensado tem contribuído para o manejo racional na exploração desta cactácea.

Neste cenário, as informações sobre o sistema radicular de qualquer planta são indispensáveis na concepção do planejamento de sistemas de manejo que visem à otimização da produtividade agrícola (BONI et al., 2008). As raízes são necessárias para maximizar o aproveitamento de água e nutrientes, elementos essenciais à vida vegetal. Conhecendo a distribuição das raízes de uma cultura, têm-se os subsídios necessários, que permitem o melhor uso das técnicas de adubação, tratos culturais e manejo da água de irrigação (SOUTO et al., 1992).

Do ponto de vista científico, existe uma carência de trabalhos de pesquisa com esta cactácea no Estado da Paraíba, em especial, nas condições ecológicas do sertão.

A crescente demanda de consumo por produtos de origem animal exige uma maior produção de forragem, e sendo a palma forrageira uma alternativa, é importante um aprofundamento no estudo desta planta como resposta a este desafio.

Tendo em vista que a cultura da palma forrageira pode oferecer uma grande contribuição ao desenvolvimento da pecuária do sertão do Estado da Paraíba, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de doses de fósforo em arranjos populacionais variáveis sobre o desenvolvimento radicular da palma forrageira.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aspectos da cultura da palma forrageira

#### 2.1.1 Origem e distribuição geográfica

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) é uma espécie de múltiplos usos, nativa do México, país que a explora desde o período pré-hispânico, detendo a maior riqueza de cultivares (REYES-AGUERO et al., 2005).

Esta espécie, uma das plantas mais destacadas do império Asteca, originalmente cultivada somente no continente Americano, encontra-se atualmente distribuída em todo o mundo, desde o Canadá (latitude 59°N) a Argentina (latitude 52°S), do nível do mar aos 5100 m de altitude no Peru. Da Europa, para onde foi levada desde 1520, esta cactácea mexicana se espalhou, a partir do Mediterrâneo, para a África, Ásia e a Oceania (HOFFMANN, 2001).

Dotada de mecanismos fisiológicos que a torna uma das plantas mais adaptadas às condições ecológicas das zonas áridas e semi-áridas do mundo, a palma forrageira se adaptou com relativa facilidade ao semi-árido do Nordeste Brasileiro. O seu cultivo no Nordeste do Brasil, com a finalidade forrageira, começou no início do século XX, o mesmo acontecendo nas regiões áridas e semi-áridas dos Estados Unidos, África e Austrália (TEIXEIRA et al., 1999).

#### 2.1.2 Características botânicas

A palma forrageira pertence à Divisão: Embryophyta, subdivisão: Angiospermea, classe: Dicotyledoneae, subclasse: Archiclamideae, ordem: Opuntiales e família das Cactáceas (SILVA e SANTOS, 2006). No Nordeste do Brasil são cultivadas duas espécies, conhecidas como *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e *Nopalea cochenilifera* (L.) Salm Dyck (FARIAS et al., 2005). A espécie *Opuntia ficus-indica*, também é conhecida como palma-graúda, palma-da-índia, palma-grande, palmatória, palma redonda, palma-santa, palma-sem-espinho, palma-azedo, cactus-burbank, figo-da-índia, figueira-da-barbaria, figueira-da-índia, figueira-do-inferno, figueira-moura e tuna-de-castilha (ARAÚJO FILHO, 2000).

A família cactácea possui cerca de 130 gêneros e 1500 espécies, das quais 300 são do gênero *Opuntia* Mill (MOHAMED-YASSEEN et al., 1996). O gênero *Opuntia*, bem como o *Nopalea* são os mais importantes devido a sua utilidade para o homem (VALDEZ e OSORIO, 1997). Este é provavelmente, dentre os gêneros desta família o que teve maior sucesso nos processos de distribuição, dispersão e multiplicação. O êxito ecológico e do ponto de vista

evolutivo pode ser atribuído à forte associação com os animais durante a reprodução (REYES-AGUERO et al., 2006).

A palma gigante possui como características o seu porte arborescente com 3-5 m de altura, coroa larga, glabra, 60-150 cm de largura do caule, raquetes obovaladas com 30 a 60 cm de comprimento, 20 a 40 cm de largura e 19 a 28 cm de espessura. Possuidoras de uma cor verde escura, estas são cobertas de uma camada de cera, cuja espessura atinge 10 a 50 µm. As flores possuem (60)7-9(-10) cm de comprimento, têm cor laranja ou amarela, o pericarpo é 2-2,5 vezes mais comprido do que o perianto. O fruto possui sabor doce, é suculento, comestível, apresentando 5 a 10 cm de comprimento e 4 a 8 cm de largura, coloração variável, indo desde a amarela, laranja e vermelha com muita polpa e casca fina. As sementes são obovoladas e discóides com 3 a 4 mm de diâmetro (SCHEINVAR, 2001).

As aréolas estão dispostas em 8-9 séries espirais, piriformes, com 2-4,5 mm de comprimento e cerca de 1-3 mm de largura, onde os espinhos são quase ausentes, dificilmente um em poucas aréolas. Os estômatos aparecem uniformemente de ambos os lados da superfície do caule. Na *Opuntia ficus-indica* são cerca de 15 a 35 por mm<sup>2</sup>. O sistema radicular é composto de raízes carnosas e superficiais, com uma distribuição horizontal, cuja distribuição pode depender do solo e do manejo da cultura. Estas são diferentes de outras plantas, porque possuem características xeromórficas que garantem a sua sobrevivência por períodos longos de seca. Observam-se quatro tipos de raízes na palma forrageira: as estruturais, as absorventes, em esporão e as desenvolvidas de aréolas. Em todos os tipos de solos, as raízes absorventes atingem uma profundidade máxima de 30 cm e uma dispersão de 4 a 8 cm (SUDZUKI-HILLS, 2001).

### **2.1.3 Exigências edafoclimáticas**

O crescimento e o desenvolvimento satisfatório das plantas dependem da combinação adequada do manejo cultural, dos fatores ambientais e do potencial genético da variedade.

A palma forrageira é encontrada em uma ampla faixa de solos: dos vertissolos e luvisolos mexicanos até os regossolos e cambissolos italianos. O pH varia de subácido a subalcalino, demonstrando a boa adaptação da espécie. Solos com profundidade de 60 a 70 cm são bons para o desenvolvimento radicular superficial da cultura. Solos mal drenados, lençol freático raso e presença de camada superficial impermeável são prejudiciais ao bom desenvolvimento da planta. O percentual de argila além de 20% contribui para a putrefação das raízes (INGLESE, 2001). Solos salinizados também não são adequados ao cultivo desta planta, pois prejudicam o desenvolvimento das raízes e da parte aérea (DUBEUX JÚNIOR e

SANTOS, 2005). A cultura, ao contrário do que muitos produtores imaginavam, é relativamente exigente no que se refere aos atributos químicos e físicos do solo. Sendo férteis, são indicados os de textura arenosa a argilosa, sendo os argilo-arenosos os mais recomendados (FARIAS et al., 1984).

As condições climáticas exercem uma forte influência no crescimento e desenvolvimento da palma forrageira. Conforme pesquisas feitas no México, existem correlação significativa entre as variáveis temperatura, produção e absorção de nutrientes, sendo possível concluir que estes fatores são importantes para o aumento da produção (ORONA-CASTILLO et al., 2004).

No geral, as *Opuntias* são nativas em vários ambientes, indo das regiões tropicais do México, com temperaturas sempre acima de 5°C até regiões do Canadá, onde as temperaturas de inverno alcançam até -40°C. Porém, estudos mostram que temperaturas de 25°C durante o dia e de 15°C durante a noite é uma combinação ideal (NOBEL, 2001). Locais onde as noites são frias e a umidade do ar elevada, com a possível ocorrência de orvalho, representam condições ótimas para o cultivo desta planta. Em localidades cujas noites são quentes e secas, a cultura perde muita água e o seu desenvolvimento é prejudicado (SAMPAIO, 2005).

No Estado do Rio Grande do Norte-Brasil, Guerra et al. (2005), avaliando 22 genótipos e as variedades gigante, redonda e miúda nos municípios de Lagoa dos Velhos, Santa Cruz, São Gonçalo do Amarante e Lages, verificaram que a produtividade da palma forrageira foi maior nas localidades onde a temperatura noturna ficou na faixa de 19°C a 21,5°C e a precipitação pluviométrica média de 700 mm.ano<sup>-1</sup>. Nos locais que choveram em média 500 mm.ano<sup>-1</sup> e as noites foram mais quentes a produtividade do palmar foi menor. Nestas condições de déficit hídrico na maior parte do ano, as plantas perderam bastante água durante a noite, e esta não foi compensada na mesma quantidade durante o dia, o que resultou em menor desenvolvimento da cultura. Por outro lado, na região que choveu mais que 1000 mm.ano<sup>-1</sup>, o resultado foi uma baixa produtividade, possivelmente em função da excessiva pluviosidade.

Na Índia, clones de *Opuntia* cultivados em locais onde o índice pluviométrico foi inferior a 350 mm.ano<sup>-1</sup> e a temperatura excedeu a 40°C por um longo período do ano, necessitaram de irrigação para que atingissem um significativo índice de crescimento. Os estudos sugerem que pesquisas sejam feitas, com o objetivo de selecionarem clones de *Opuntia* que demonstrem tolerância superior ao estresse hídrico (FELKER e INGLESE, 2003). Enquanto isso, Nobel e Zutta (2008), quando estudavam na Universidade da Califórnia-EUA, em ambiente de casa de vegetação, a resistência à temperatura pelo caule e

raízes de duas espécies de cactus, *Nopalea cochenillifera* e *Opuntia robusta*, concluíram que as raízes apresentaram aclimação para temperaturas extremas.

Situações extremas, como regiões marcadas por invernos com temperaturas frias, representam uma grande limitação ao cultivo da palma forrageira. No entanto, pesquisas feitas na região de Mendoza-Argentina mostraram que a espécie *Opuntia ficus-indica* é uma das mais indicadas para a produção de forragem nas áreas com invernos extremamente frios ( $-5^{\circ}\text{C} < T < 3^{\circ}\text{C}$ ) (GUEVARA et al., 2000).

#### **2.1.4 Adaptações às zonas áridas e semi-áridas**

As regiões áridas e semi-áridas do mundo carecem de uma seleção adequada de plantas, para tornarem seus sistemas agrícolas sustentáveis. Das diversas famílias de plantas que existem nestas áreas, as cactáceas são uma das mais importantes, em virtude dos seus mecanismos de adaptação à escassez de água, o que permite a sua perenidade em ambientes algumas vezes de extrema condição de aridez (ROJAS-ARÉCHIGA e VÁZQUEZ-YANES, 2000; ARAÚJO et al., 2004).

As cactáceas são possuidoras de mecanismos morfofisiológicos que permitem a absorção de água da mais ligeira chuva e reduzem a sua evaporação ao mínimo. A grande maioria das *Opuntias* sobrevive a prolongadas secas. Destas, a *Opuntia ficus-indica* é a mais importante das cactáceas utilizadas na agricultura (KIESLING, 2001). Esta planta é detentora do processo fotossintético conhecido como metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), que apresenta uma alta eficiência no uso da água, em virtude da absorção do  $\text{CO}_2$  no período noturno e a transformação deste em biomassa pela luz do sol durante o dia, tornando-se uma cultura recomendada para ser explorada nas regiões áridas e semi-áridas, onde a água é o principal fator limitante ao desenvolvimento da agropecuária (RAVETTA e MCLAUGHLIN, 1996; FARIAS et al., 2000; SINGH e SINGH, 2003).

A eficiência no uso da água (kg de água/ kg de matéria seca) por parte das plantas MAC é muito superior às plantas de metabolismo  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . Em relação às plantas  $\text{C}_3$  essa superioridade atinge até onze vezes (SAMPAIO, 2005). Conforme observações de Mohamed-Yasseen et al. (1996), a capacidade de adaptação desta cultura aos ecossistemas áridos e semi-áridos, também se expressa no seu potencial de armazenar água e nutrientes no período das chuvas, para serem usados na época seca, mais economicamente do que as culturas alternativas.

Pesquisas realizadas no Texas-EUA, durante quatro anos, mostraram que a palma forrageira apresentou um nível de eficiência no uso da água de 162 kg de água/kg.matéria

seca<sup>-1</sup>, eficiência superior a qualquer outra espécie de planta ( C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>), segundo medições feitas em nível de campo (HAN e FELKER, 1997). Por outro lado, resultados de experimentos conduzidos em quatro municípios do semi-árido do Estado de Pernambuco-Brasil, evidenciaram que em todas as localidades pesquisadas, o palmar adensado (40.000 plantas.ha<sup>-1</sup>) foi mais eficiente no uso da água da chuva, o que resultou em uma maior produção de forragem por unidade de índice pluviométrico (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006).

Nas zonas áridas e semi-áridas do Mediterrâneo, a produção de forragem da *Opuntia ficus-indica* atingiu 60-80 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de matéria verde (12-16 Mg MS) sob uma precipitação média anual de 400-600 mm, sem adubação mineral ou orgânica. Rendimentos de 50 Mg de MS.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> são alcançados sob condições favoráveis de água e nutrientes, enquanto em regiões áridas, com pluviosidade média anual de 200-400 mm e sem fertilizante, a produção pode atingir 20-60 Mg de MV.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (4-12 Mg MS) (HOUÉROU, 1996).

Enquanto isto, estudos realizados no México notaram efeito significativo da espécie e do estágio de crescimento sobre a percentagem de matéria seca da palma forrageira. Os dados sinalizam para uma possível relação entre a capacidade de utilização da água armazenada pela planta e o índice pluviométrico médio anual das regiões de origem das espécies (RAMÍREZ-TOBÍAS et al., 2007).

Conforme pesquisas desenvolvidas na Universidade de Chapingo-México, verificou-se que o estresse hídrico influi na fisiologia do palmar, onde foi observado em condições de seca severa (sem irrigação) uma diminuição significativa da clorofila nas raquetes com seis meses de idade. No clorênquima, ocorre uma redução da clorofila a+b em 42,3%, da clorofila a em 34,2% e da clorofila b em 31,4% e no parênquima a redução foi de 39,6%, 35,8% e 23,6% respectivamente (BECERRIL e VALDÍVIA, 2006).

No Brasil, com destaque para a região Nordeste, o cultivo desta cactácea foi incentivado, em virtude de seus atributos morfológicos serem adequados a regiões semi-áridas (TEIXEIRA et al., 1999).

No Cariri da Paraíba-Brasil, foram estudadas variedades de palma forrageira com a finalidade de verificar o seu potencial de adaptação. As variedades do gênero *Opuntia* mostraram um maior potencial de adaptação às regiões de baixa disponibilidade de água no solo, em virtude da reserva hídrica contida nas suas raquetes (SALES e ANDRADE, 2006).

Mesmo sendo uma planta adaptada às condições de semi-aridez do Nordeste brasileiro, pesquisas feitas com clones desta cultura mostraram que a sua produtividade é inferior às outras culturas forrageiras, como cana-de-açúcar, milho, sorgo, capim elefante, etc.

Esta constatação reforça a importância da pesquisa visando a obtenção de clones mais produtivos do que os atuais (SANTOS et al., 1994).

## **2.2 Importância da palma forrageira para o semi-árido brasileiro**

Em virtude da possibilidade de se obter vários produtos e subprodutos da palma forrageira, com destaque para uso na alimentação humana e animal, na medicina humana, na indústria de cosméticos e na produção de aditivos naturais, a palma representa uma alternativa de renda para os que habitam as regiões áridas e semi-áridas em diferentes partes do mundo (SÁENZ, 2000; SÁENZ et al., 2004). É uma cultura detentora de grande potencial, capaz de contribuir positivamente na viabilidade econômica das pequenas e médias propriedades, notadamente na alimentação dos rebanhos (GALINDO et al., 2005). O seu cultivo ganha cada vez mais importância com o avanço da desertificação, onde o uso de tecnologias apropriadas e de culturas adequadas garante o desenvolvimento sustentável (INGLESE et al., 1995).

A região Nordeste do Brasil possui uma área de 550.000 ha ocupada com a plantação de palma forrageira, com destaque para Alagoas e Pernambuco, Estados com a maior área cultivada (ARAÚJO et al., 2005). É nesta região que fica a maior parte do semi-árido brasileiro, que possui como características um alto índice de evaporação anual, superior a 2000 mm e média anual de chuvas inferior a 750 mm, concentrados em uma única estação de 3 a 5 meses. Alguns anos a estiagem é prolongada, resultando no fenômeno das secas. Esta fragiliza a economia regional, causando o êxodo das populações mais desprotegidas, agravando os problemas da região (BANCO DO NORDESTE, 2005).

Para estudiosos da agropecuária baiana, o Estado da Bahia-Brasil com seus 360 mil km<sup>2</sup> de semi-árido, que equivale a 64% do território estadual, acredita na grande diversidade de usos e aplicações desta cultura, que embora esteja sendo utilizada na alimentação animal, vem sendo desperdiçada a sua enorme potencialidade de contribuir para melhoria dos índices sociais e econômicos desta região, criando emprego, renda, produção de alimentos e preservação ambiental (CHACCHIO et al., 2006).

No período das chuvas, a oferta de forragem é quantitativa e qualitativamente satisfatória, porém, na época seca, que representa a maior parte do ano, além da escassez de pastagens, o seu valor nutricional é baixo, prejudicando a produção de carne e leite (LOPES et al., 2005). Este grande problema da pecuária do Nordeste brasileiro, que é a oferta irregular de forragem, causa um grande prejuízo a este segmento da economia. A constância no aparecimento de anos secos faz da palma forrageira um alimento classificado como

estratégico para esses períodos, quando o crescimento de outras forrageiras é limitado pelo baixo índice pluviométrico (CAVALCANTE, 2007; ROMO et al., 2006).

Evidentemente, esta planta significa uma opção dos criadores para amenizarem a fome dos seus animais (FARIAS et al., 2000; SANTOS et al., 2001; FROTA et al., 2004). As características de alta palatabilidade, produção de biomassa e resistência à seca fazem desta planta um alimento valioso para os rebanhos desta região (SANTOS et al., 2005). A palma é um alimento muito fornecido aos rebanhos, independente da época do ano. A sua produção é essencial para alimentação dos ruminantes, principalmente em virtude da economia em rações concentradas e pelo aumento de produtividade (LIMA et al., 2004).

Estudos conduzidos por pesquisadores da Empresa Paraibana de Pesquisa Agropecuária, a palma enriquecida com fungos adequados tem o seu valor nutricional melhorado com o acréscimo de proteína microbiana, minerais como fosfato, potássio e vitaminas do complexo B. Essa tecnologia, prática e economicamente viável, poderá contribuir para alimentar pequenos ruminantes no semi-árido paraibano na época crítica do ano (ARAÚJO et al., 2007). Enquanto isto, pesquisas realizadas na região norte do México e no sul dos E.U.A concluíram que a alta produtividade alcançada pela palma aumentou a sua importância na alimentação de bovinos nas regiões que apresentam déficit hídrico (RODRIGUEZ, 1997a). Porém, na região norte do México, verifica-se ser muito alto o seu potencial na alimentação de caprinos em produção, nas condições ecológicas áridas e semi-áridas, em virtude desta planta ser o mais importante recurso natural destes ambientes (RODRIGUEZ, 1997b).

A oferta de água é outro sério problema do semi-árido nordestino. O rebanho, além de mal alimentado, sofre com o insuficiente suprimento de água para atender às suas necessidades. A palma forrageira, além de ser um recurso alimentar muito importante, as suas raquetes suculentas aliviam o irregular suprimento hídrico a esses animais, reforçando desse modo a sua importância como fonte de água e cultura de alto valor para as regiões onde a água é fator limitante (OLIVEIRA, 2006; VIEIRA, 2006; WAAL et al., 2006; BISPO, 2007). Resultados de pesquisas mostraram que, na África do Sul, ovelhas alimentadas com um suprimento adequado de palma exigiram uma quantidade de água menor para atender suas necessidades fisiológicas (SALEM et al., 2002).

Nutricionalmente, as Opuntias possuem alto teor de umidade (85-90%), alta digestibilidade in vitro (cerca de 75%), baixos teores de proteína (cerca de 5%), alto conteúdo de vitamina A, 29 ug de carotenóides e 13 mg de ácido ascórbico por 100 g de raquetes, matéria orgânica (67%), energia (2,61 Mcal kg), fibras cruas (4,3%), fósforo (0,08-0,18%),



cálcio (4,2%), potássio (2,3%) e magnésio (1,4%) (FELKER, 2001). Porém, um estudo da composição química-bromatológica da palma forrageira, independente do gênero, apresentou baixos teores de MS (11,69+- 2,56%), PB (4,81+-1,16%), fibra em detergente neutro (26,79+-5,07%), fibra em detergente ácido (18,85+-3,17%), carboidratos totais (81,12+-5,9%), carboidratos não fibrosos (58,55+-8,13%), carboidratos não estruturais (47,9+-1,9%) e material mineral (12,04+-4,7%). Por outro lado, apresenta altos teores de cálcio (2%-5,7% da MS), potássio (1,5-2,58% da MS), magnésio (1,3-1,7% da MS) e baixo teor de fósforo (0,1-0,6% da MS) (FERREIRA, 2006).

### **2.3 Importância do sistema radicular e a influência do fósforo no seu desenvolvimento**

Quando se estuda uma planta, costuma-se subdividi-la em duas partes. A que fica acima do solo é chamada de parte aérea e a que fica abaixo do solo de parte radicular, sendo esta última responsável pela absorção de água e nutrientes (VEGA et al., 2005). O sistema radicular das plantas terrestres possui funções primárias de fixação, absorção, condução de água e nutrientes do solo, bem como, armazenamento, síntese de reguladores de crescimento, propagação e dispersão, então tidas como funções secundárias (GIBBENS e LENZ, 2001).

No estudo das plantas forrageiras, é preciso envolver o maior número possível de fatores que interferem no sistema solo-planta-animal, para que ocorra um maior entendimento do seu funcionamento. Nesta definição, o crescimento das forrageiras não é representado somente pela parte aérea, mas também pelo desenvolvimento radicular, visto que a raiz é o caminho de entrada de água e nutrientes (GRISE et al., 2004). Portanto, a capacidade produtiva da parte aérea de uma planta é reflexo da ação do seu sistema radicular, pois ambos interagem. Se algum fator limita o crescimento das raízes, este pode prejudicar a produção de massa seca da planta forrageira (GIACOMINI et al., 2005). Logo, estudar as raízes de uma cultura é de fundamental importância, pois estas armazenam carboidratos e proteínas que influenciam diretamente na capacidade de rebrota da planta após a desfolhação, além de serem responsáveis pela sua produção e perenidade (HERLING et al., 2001).

Uma maior fundamentação técnico-científica para o manejo da irrigação e nutrição de uma cultura é através do conhecimento do sistema radicular desta e de suas interações com a água e com os nutrientes do solo (ELOI et al., 2007). Para Souza et al. (2006), as informações sobre a distribuição radicular são necessárias à efetivação dos cálculos da quantidade de água a ser aplicada às plantas. Com isto, identificar as zonas de maior concentração de raízes contribui na aplicação localizada de adubos e corretivos, melhorando a eficiência, reduzindo custos e impactos ambientais (MONTENEGRO et al., 2004). O

conhecimento do sistema radicular de uma cultura é um fator muito importante na concepção do seu plano de manejo (COELHO e OLIVEIRA, 2006). As raízes, através do seu maior comprimento e densidade, tornam-se melhores mobilizadoras de nutrientes e absorvedoras de água de camadas mais profundas, contribuindo, após a sua morte, para uma maior quantidade de carbono orgânico nessas camadas (PEQUENO, 1999).

As raízes finas (< 1 mm) são consideradas as principais nos processos de absorção de água e nutrientes pela planta, sendo observado grande variação na sua distribuição no perfil do solo, em função do genótipo e da época de amostragem. Existem evidências de que a sua extensão é uma característica hereditária, que se relaciona com o fator nutricional, potencial produtivo e capacidade de adaptação ao estresse ambiental (MELLO et al., 1998). A palma forrageira é uma cultura que apresenta uma rede de raízes finas próximas da camada superficial do solo (até 10-20 cm) adaptada para absorver a água de chuvas leves e até do orvalho, caracterizando uma vantagem em locais de índice pluviométrico baixo. Uma outra característica é a morte e renovação de um percentual das raízes, conforme a falta de água por períodos mais prolongados e o retorno da umidade ao solo (SAMPAIO, 2005). Para Zúñiga-Tarango et al. (1999), de acordo com estudos feitos no México, no geral, as raízes da palma forrageira se desenvolvem na camada de solo de 0-18 cm, onde foram encontradas 96% da massa radicular, registrando-se somente cerca de 3% na faixa de 18 a 36 cm.

Em estudos feitos na África do Sul, com as espécies *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia robusta*, observou-se que a maior concentração de raízes ocorreu nos primeiros 15 cm do solo e que o peso total destas, quando secas, atingiu o valor de 239 kg.ha<sup>-1</sup> e 316 kg.ha<sup>-1</sup> a uma profundidade de 1,20 m, respectivamente (SNYMAN, 2006a). Em outro trabalho desenvolvido neste mesmo país, onde se estudou o perfil radicular e o uso eficiente da água em um palmar, concluiu-se que as raízes desta planta são superficiais, com o maior percentual nos primeiros 10 cm do solo, onde estas no primeiro ano de plantio se espalham superficialmente e horizontalmente, podendo atingir 1,5 m a 1,8 m da planta. Devido à superficialidade das raízes, a drenagem é um fator muito importante no manejo da cultura, haja vista a baixa tolerância da mesma à falta de oxigênio na zona radicular (SNYMAN, 2005). Segundo Pinto (2002), avaliando o comportamento da espécie *Opuntia ficus-indica*, cv. Gigante, na microrregião do cariri ocidental do estado da Paraíba-Brasil, independente do espaçamento utilizado, mais de 76 % da distribuição radicular desta cultura se concentrou nos primeiros 20 cm de profundidade do solo, comprovando a superficialidade do seu sistema radicular.

Vázquez-Vázquez et al. (2007), ao estudarem o desenvolvimento de raízes dentro da espécie *Opuntia ficus-indica*, na Faculdade de Agronomia de Nova Leon-México, constataram diferenças significativas na taxa de crescimento entre quatro variedades, onde a Copena VI apresentou o maior crescimento diário ( $1.93 \text{ cm.dia}^{-1}$ ).

O efeito de várias estratégias de aplicação de água no desenvolvimento da palma forrageira permitiu a observação em ensaios experimental feitos na África do Sul, que a massa e o comprimento das raízes tiveram uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) com o estresse hídrico, enquanto a relação massa de raízes e comprimento aumentou significativamente ( $p < 0,05$ ). Portanto, concluiu-se que existe pouco conhecimento a respeito da dinâmica do sistema radicular desta cactácea, bem como a idéia comumente divulgada de que a palma necessita de pouca água para atingir alta produção é respaldada em informações científicas limitadas (SNYMAN, 2004b).

O desenvolvimento radicular de uma cultura é influenciado por fatores ambientais e do solo, que terminam refletindo no crescimento da parte aérea (MERTEN e MIELNICZUK, 1991). O genótipo da planta, a densidade de plantio, o nível de desfolhação e os fatores do solo, como pH, concentração de  $O_2$  e  $CO_2$ , temperatura, fertilidade, umidade e densidade exercem forte influência no crescimento e distribuição das raízes (GARDNER et al., 1985).

A distribuição das raízes no solo é o resultado de uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento (FANTE JÚNIOR et al., 1999). No caso da palma forrageira, estudos realizados na África do Sul mostraram o efeito do estresse hídrico no seu desenvolvimento radicular. Foi observado um aumento no comprimento das raízes durante o período da manhã (06:00-12:00 h.), mesmo com o aumento do estresse hídrico. A razão para este fato pode ser a produção de substâncias de crescimento durante a noite pelo modelo fotossintético MAC. O oposto ocorreu no período da tarde. Enquanto isto, no período da noite (18:00-06:00 h.), foi observado um aumento no crescimento radicular com o estresse hídrico, talvez devido a uma maior eficiência no uso da água e a baixa temperatura da noite (SNYMAN, 2004a).

Wilcox et al. (2004), explica que em áreas de clima árido, a umidade do solo é geralmente tida como principal fator a afetar o crescimento radicular, enquanto outros estudos reforçam a hipótese de que a temperatura do solo atua secundariamente. Correlação significativa não foi encontrada entre comprimento das raízes finas e temperatura do solo. Verificou-se que respostas das raízes finas à temperatura do solo podem ser específicas por espécies, ou seja, algumas são mais tolerantes do que outras. O que ficou evidenciado em estudos desenvolvidos nos E.U.A, foi que o crescimento radicular da palma forrageira sofreu

influências significativas da temperatura do solo, temperatura da parte aérea e do nível de CO<sub>2</sub> atmosférico (DRENNAN e NOBEL, 1998). Em condições de seca prolongada, as raízes da espécie *Opuntia ficus-indica* diminuem o seu espessamento que pode criar vácuos de ar ao seu redor, por onde a água se move na forma de vapor. Como a água no solo se movimenta mais na forma líquida do que na forma de vapor, os vácuos de ar podem atrasar o fluxo de água dentro ou fora das raízes (NOBEL, 1997). Foi observado que uma das mais importantes demonstrações de tolerância à seca desta espécie é o desenvolvimento das raízes de chuva, assim chamadas porque surgem nas primeiras horas após o solo ser molhado e desaparecem tão logo o solo fique seco. Estas são extensas, densas, próximas à superfície do solo e absorvem rapidamente a pequena quantidade de água (SNYMAN, 2006b).

Quanto aos atributos químicos do solo, segundo Berry e Nobel (1985), ao estudarem em condições de casa de vegetação na Universidade da Califórnia-EUA, notaram a influência dos níveis de salinidade (NaCl), boro, metais pesados (Cu e Zn), cálcio e pH nas espécies *Opuntia ficus-indica* e *Ferocactus acanthodes*, chegaram à conclusão de que as duas culturas foram tolerantes ao baixo nível de cálcio e a variação no pH de 4,5 a 8,5. Foi observado, nas duas espécies, que o peso seco das raízes não foi afetado significativamente pela mudança do pH, indicando então que o potencial de hidrogênio do solo aparentemente não influi no crescimento radicular.

Os solos das regiões tropicais, além da deficiência generalizada, apresentam alta capacidade de fixação de fosfato (adsorção e precipitação), limitando a produtividade das culturas nessas áreas (RAIJ, 1991). O fósforo é um elemento essencial para o crescimento das plantas, e dentre as suas funções uma é estimular o crescimento das raízes (MALAVOLTA, 1989).

A palma forrageira é uma cultura possuidora de uma alta interação com o meio-ambiente, cuja absorção de nutrientes e desenvolvimento vegetativo será uma função do genótipo. A exigência nutricional desta planta é função do tipo de produção (forragem, hortaliça ou fruto), da variedade e da espécie (MURILLO-AMADOR et al., 2005). Esta é capaz de absorver grandes quantidades de nutrientes do solo, o que se verifica ao analisar N, P, K e Ca na matéria seca, cujos teores médios são da ordem de 0,9 %, 0,16 %, 2,58 % e 2,35 %, respectivamente (SANTOS et al., 1990). Segundo resultados de experimentos feitos em cinquenta campos de palma cultivados no estado de Pernambuco e Paraíba-Brasil, em cima da variabilidade na fertilidade do solo, foi constatada uma relação direta entre o nível de fósforo disponível no solo e a produtividade de matéria seca (MENEZES et al., 2005). Dubeux Júnior et al. (2006), em experimento realizado na região semi-árida do Estado de Pernambuco-Brasil,

concluíram que a espécie *Opuntia ficus-indica* cv. clone 20, respondeu ao uso da adubação fosfatada com aumento de produtividade apenas em solos que apresentaram o nível de fósforo abaixo de 10 mg. kg<sup>-1</sup>.

Estudos realizados por Otoni e Ae (1996), em solos com alta disponibilidade de fósforo e várias culturas exploradas, mostraram uma estreita ligação entre o nutriente e o comprimento das raízes. Na Universidade Federal de Campina Grande-Patos-PB, ao estudarem o efeito do fósforo na cultura do guandu, Oliveira et al. (2007), constataram a ação positiva deste na produção de matéria seca de raízes e que existiu uma relação direta do elemento com o desenvolvimento radicular.

Pesquisa desenvolvida no Centro Nacional de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas-Bahia verificou que o uso da adubação fosfatada influenciou no aumento da massa seca das raízes de absorção na cultura do umbuzeiro. Os dados mostraram que da falta de fósforo até a dose de 32 mg de P, este aumento foi lento (de 0,178 g para 0,223 g), porém, entre as doses de 32 e 64 mg de P, ocorreu um aumento de 173% de massa radicular (CRUZ et al., 2007). Idêntico resultado foi conseguido com a cultura da mamona, cujos dados experimentais permitiram concluir que as doses de fósforo exerceram influência significativa sobre o comprimento, superfície e massa seca do sistema radicular (CURTARELLI et al., 2007). O crescimento radicular, além de ser influenciado pela distribuição de fósforo no solo, está relacionado também, ao crescimento da parte aérea da planta (KLEPER e ANGHINONI, 1995).

#### **2.4 Influência do espaçamento na cultura da palma forrageira**

A demanda por uma produção cada vez maior de alimentos reflete na necessidade de repensar, quase que constantemente, os sistemas de produção. A redução no tamanho das propriedades, o uso intensivo do solo, a maior necessidade de forragem para alimentar o rebanho leiteiro nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Sergipe, introduziram no cultivo da palma forrageira, de forma quase que obrigatória a prática da adubação e plantio adensado (SANTOS et al., 2006). Técnicas como espaçamento de plantio, manejo de colheita e adubação são tidas como de grande influência na produtividade da cultura (ALVES et al., 2007).

A definição de um sistema de plantio de um palmar é muito importante o espaçamento utilizado, em virtude da sua relação direta com a interceptação de luz pela cultura (FARIAS et al., 2005). Este é variável em função da fertilidade do solo, volume das chuvas, objetivo da exploração e se o cultivo for monocultura ou consorciado. Espaçamentos mais adensados

estão sendo muito utilizados e nesses ocorre uma maior extração de nutrientes do solo (TELES et al., 2004).

Pinto (2002), avaliando o crescimento das raízes da palma forrageira no cariri ocidental do estado da Paraíba, verificou que no maior espaçamento de plantio ocorreu o maior desenvolvimento radicular, enquanto Souto et al. (1992), não encontrou nas suas pesquisas com aveia preta (*Avena strigosa*), influência significativa entre densidade de plantas e crescimento radicular.

O uso da tecnologia do plantio adensado na palma forrageira tem resultado em aumento de produtividade, provavelmente em função da maior absorção da luz solar, menor ação das plantas daninhas e alta eficiência fotossintética (MEDEIROS et al., 1997; DUBEUX JÚNIOR et al., 2000). Ruiz-Espinoza et al. (2008), pesquisando o comportamento de cinco cultivares de *Opuntia fícus-indica* em solo Mexicano, verificaram que o plantio adensado resultou em um significativo aumento de produtividade, tanto em matéria verde e seca. Maiores densidades de plantio contribuem para o aumento da taxa de assimilação líquida, e esta possui estreita relação com o índice de área foliar.

Na estação experimental de Arcoverde (Pernambuco), o cultivo da palma forrageira clone IPA-20, utilizando os espaçamentos 2,00 m x 1,00 m e 1,00 m x 0,25 m, permitiu a conclusão de que o cultivo adensado resultou em um aumento em torno de 80% na produtividade da matéria seca comparada com o cultivo tradicional (SANTOS et al., 2006). No entanto, pesquisas realizadas com manejo e colheita desta cultura em consórcio com sorgo granífero permitiram a verificação de que o cultivo da palma forrageira, usando espaçamentos mais adensados resultou em maiores produções. Porém, este sistema de condução exige maiores gastos na implantação e existem maiores dificuldades nos tratos culturais. A conclusão que se tem, é que os percentuais de matéria seca, proteína bruta e fibra bruta dos cladódios sofreram pouca influência dos espaçamentos, frequências e intensidades de corte (FARIAS et al., 2000).

Na estação experimental do Instituto Pernambucano de Agropecuária-IPA em Caruaru-Pernambuco-Brasil, observou-se uma maior produtividade da cultura, quando se utilizaram espaçamentos mais densos. A adubação nitrogenada influenciou positivamente no aumento da proteína bruta (SILVA et al., 2001). Também não foram diferentes os resultados obtidos no sertão e agreste do estado de Pernambuco-Brasil, que demonstraram o significativo aumento na produtividade com o uso de tecnologias como adubação nitrogenada, fosfatada e plantios com espaçamentos mais adensados. Constatou-se também, que a aplicação de doses mais elevadas de nutrientes são viáveis somente em cultivos mais densos (DUBEUX JÚNIOR

et al., 2002). Também nas zonas fisiográficas do agreste e sertão do Estado de Pernambuco-Brasil, experimentos com diferentes espaçamentos e níveis de adubação constataram a influência da população de plantas na produtividade em todas as localidades. A produção de matéria seca variou de 6,0 para 17,0 Mg.ha<sup>-1</sup> na densidade de 5000 plantas e de 17,8 para 33,7 Mg.ha<sup>-1</sup> em 40.000 plantas.ha<sup>-1</sup>. Ocorreu interação entre fertilização nitrogenada, fosfatada e população de plantas, onde se observou uma maior produtividade no plantio adensado. Portanto, foi possível concluir que para se alcançar alta produtividade é preciso grande população de plantas (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006).

O cultivo da palma forrageira, cultivar gigante, nos espaçamentos 2,0 m x 1,0 m em fileira simples e 3,0 m x 1,0m x 0,5 m e 7,0 m x 1,0 m x 0,5 m em fileiras duplas consorciada com sorgo granífero, feito em São Bento do Una-PE, não influenciou de forma significativa os percentuais de matéria seca, proteína bruta e celulose dos cladódios. O que se observou no plantio em fileira dupla foi a chance de mecanizar o cultivo sem prejudicar a produção total de matéria seca de ambas as culturas (FARIAS et al., 1996).

## **2.5 Metodologias usadas para avaliação radicular**

Os estudos visando um maior conhecimento do sistema radicular dos vegetais tiveram um significativo aumento a partir da segunda metade do século XIX, com o uso em maior escala dos fertilizantes minerais, mas segundo Crestana et al. (1994), a exploração cada vez mais intensa das terras agrícolas, o uso de tecnologias modernas de cultivo e a grande concorrência existente no setor, pressionando os produtores a reduzirem seus custos de produção, conduziram a uma mudança de mentalidade no uso do solo, com reflexos positivos no estudo das raízes, haja vista o reconhecimento da sua importância na interação solo-planta-organismos vivos.

São várias as metodologias indicadas para as pesquisas sobre o desenvolvimento radicular, sendo as mais usadas à técnica da escavação, o método monólito e a perfuração com trado. De todas, a melhor é aquela que atende os objetivos do trabalho, sendo importante não apenas a familiaridade com a técnica, mas o conhecimento do tempo necessário para se obterem os dados pretendidos. Portanto, avaliar a distribuição das raízes de uma cultura, independente do método utilizado, é atividade difícil e grandes empecilhos são enfrentados, como o tempo gasto, pouca informação alcançada e a grande variabilidade dos resultados (BOHM, 1979).

A avaliação radicular é feita basicamente de duas maneiras: através da coleta de raízes, onde se usam os métodos destrutivos que exigem a separação dos componentes das

amostras de raízes e solo, e diretamente no perfil do solo, que são os métodos qualitativos. Desta forma, a coleta de informações sobre o crescimento das raízes no campo é uma missão árdua, e às vezes sem o devido rigor científico. Esta situação contribui para que se tenham bem menos estudos sobre raízes do que sobre a parte aérea (GUIMARÃES et al., 1997). Kucke et al. (1995), nas suas pesquisas encontraram grandes diferenças de correlações e de coeficientes de variação em diferentes culturas, tipos de solos, profundidades e épocas de amostragem.

No Brasil, entre os métodos mais usados, aparecem o método da trincheira ou parede do perfil, blocos ou monólito, placas com pregos, trado e rhizotron. Deste modo, o uso de uma metodologia rápida e que facilite a obtenção dos resultados sobre a distribuição radicular é de grande importância, principalmente no sentido de acelerar a aquisição de conhecimentos a respeito da interação solo-raiz (MEDINA e NEVES, 1999).

O uso do elemento marcado ou radioativo ( $^{32}\text{P}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  e  $^{86}\text{Rb}$ ) é uma técnica indireta usada na determinação da avaliação radicular. Encide-Olibone et al. (2008), ao adaptar um método de avaliação da atividade radicular da cultura da soja usando nitrato de rubídio, chegaram à conclusão que essa adaptação é de fácil aplicação em campo, alcançando resultados satisfatórios, com a vantagem de ser uma técnica de amostragem não destrutiva.

Segundo Vasconcelos et al. (2003), estudar o sistema radicular de qualquer cultura não é uma tarefa fácil. A variabilidade física, química e biológica do solo exerce influência na distribuição das raízes, podendo levar a coleta de resultados não condizentes com a realidade. As suas pesquisas com raízes da cana-de-açúcar pelos métodos de monólito, do trado e do perfil, concluíram ser o método do perfil o mais adequado para captar as diferenças entre os tratamentos, por apresentar o menor coeficiente de variação, embora possa subestimar a quantidade de raízes na camada superficial do solo.

Fante Júnior e Reichardt (1994), ao estudarem a distribuição radicular na cultura do milho fazendo uso dos métodos do cilindro volumétrico, processamento de imagens e do trado, concluíram ser o método do trado o mais indicado por ser uma avaliação simples, rápida e barata, porém, limitado para um estudo completo das raízes. Enquanto isto, pesquisa feita no Estado de São Paulo com a cultura da aveia forrageira, constatou que o mesmo se destacou dos demais métodos, ao apresentar os menores valores dos coeficientes de variação, sinalizando que a menor variabilidade na distribuição radicular tem uma maior relação com o volume da amostra do que com o número de pontos amostrados (FANTE JÚNIOR et al., 1999).



Com o avanço da tecnologia, surge o método computacional denominado Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo, que segundo Crestana et al. (1994), trata-se de uma ferramenta capaz de quantificar raízes em perfis de solos de trincheiras, de uma maneira muito menos trabalhosa, mais rápida e detalhada, indicando ser este, relativamente simples e preciso, quando comparado aos métodos convencionais apresentados por Bohm.

Segundo Guimarães et al. (1996), quando estudaram comparativamente os métodos que necessitavam de abertura de trincheira, verificaram que usando digitalização de imagens, estes mostraram uma melhor distribuição espacial das raízes no perfil. Enquanto isto, Jorge (1999), verificou que o método de imagens digitalizadas é um dos mais eficientes, em virtude da maior precisão dos resultados alcançados, quando comparado à contagem manual.

De acordo com Coelho e Oliveira (2006), em estudos de avaliação de dois métodos de obtenção e de análise de imagens digitais, permitiram concluir que os softwares Delta T scan e o Rootedge não mostraram resultados diferentes na avaliação de diâmetro, comprimento e área das amostras de raízes.

Para Ivo (1999), as diversas metodologias usadas no estudo de raízes, em condições de campo, parecem ultrapassadas, sugerindo pesquisas no sentido de que novas técnicas sejam desenvolvidas, tornando o trabalho mais rápido e eficaz, com menor variação nos resultados.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área Experimental

O experimento foi conduzido no período de janeiro de 2007 a janeiro de 2008 no Núcleo de Pesquisas para o Semi-árido (NUPEÁRIDO), pertencente ao Centro de Saúde e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/UFCG), distante 6 km a sudeste da sede do município de Patos-Estado da Paraíba. O NUPEÁRIDO possui como coordenadas geográficas uma latitude de 07°05'10'' norte e longitude de 37°15'43'' oeste.

A temperatura média anual na sede do município é de 28,01°C, com a máxima de 33,64°C e a mínima de 22,38°C e a altitude de 242 m (PMP, sd). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSh, ou seja, quente e seco com precipitação pluviométrica bastante irregular. Os dados pluviométricos referentes aos últimos doze anos foram obtidos no escritório regional da Emater de Patos-PB e encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 Pluviosidade (mm) ocorrida na área de Estudo, no período de 1997 a 2008

ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS (mm)													
ANO	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1997	202,1	34,2	158,0	140,6	41,3	0,7	22,9	0,6	0,0	9,0	24,4	34,8	668,6
1998	68,6	33,7	60,8	67,2	0,0	0,0	14,4	9,0	0,0	0,0	1,5	1,2	256,4
1999	85,2	53,6	278,8	1,6	178,8	1,7	11,8	0,0	0,0	27,4	32,5	50,4	722,8
2000	81,6	78,8	153,2	170,1	40,3	7,5	19,0	86,6	18,2	0,0	0,0	53,0	708,3
2001	37,6	2,9	194,6	85,8	28,8	52,0	12,0	0,0	6,2	5,0	0,0	12,0	436,9
2002	304,8	79,2	138,7	85,6	71,5	50,0	1,3	0,0	0,0	0,0	3,5	36,0	770,6
2003	117,2	54,4	207,1	95,9	16,5	15,2	4,9	0,0	0,8	0,0	0,0	31,5	543,5
2004	320,4	165,4	26,1	89,8	7,2	34,2	24,1	4,4	1,6	0,0	0,0	0,0	673,2
2005	28,8	68,5	384,7	42,3	20,7	40,1	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	180,1	767,7
2006	0,0	168,8	244,2	195,6	121,9	8,8	0,0	0,0	0,0	15,3	1,3	83,2	839,9
2007	12,1	255,8	40,8	110,0	44,2	3,1	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	91,0	559,9
2008	27,4	227,1	489,5	211,8	183,9	13,8	15,3	0,0	3,7	-	-	-	1.172,5

Fonte: Dados obtidos no escritório regional da EMATER – Patos-PB, 2008

O solo da área do experimento foi classificado com LUVISSOLO PLANOSSÓLICO (SOUTO, 1999), textura arenosa. Os atributos químicos e físicos do solo, determinados em amostra composta obtida na camada de 0-20 cm, estão descritos na tabela 2.

Tabela 2: Atributos químicos e físicos do solo da área experimental

Camada	pH em Água	Atributos químicos											
Prof. (cm)	-	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	V	M.O	
	(1:2,5)	mg.dm <sup>-3</sup>	.....cmolc.dm <sup>-3</sup> .....									%	g.kg <sup>-1</sup>
0-20	5,0	9,0	0,26	0,9	0,6	0,13	0,2	2,2	1,9	4,1	46	5,97	

## Atributos físicos

Prof. (cm)	Areia	Silte	Argila	Densidade aparente	Densidade real	Porosidade total	Argila natural	Classe Textural
	.....	g.kg <sup>-1</sup>	.....	.....kg.m <sup>-3</sup> .....	.....	m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup>	..g. kg <sup>-1</sup> .	
0 - 20	827	72	101	1,57	2,83	0,44	50	Arenoso

Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Escola Agrotécnica Federal de Sousa-PB.

### 3.2 Preparação da área experimental

Antes da implantação do experimento, destocou-se a área, fez-se subsolagem (Figura1a), utilizando subsolador de três hastes a uma profundidade de 0,50 m, seguido de gradagem (Figura1b) e sulcamento (Figura1c), onde foi utilizado o sulcador de aiveca de duas linhas com regulagem para espaçamento entre os sulcos de 1,70 m e a profundidade média de 0,30 m. Uma semana antes do plantio realizou-se adubação (Figura1d), utilizando esterco bovino curtido, na quantidade de 30 Mg.ha<sup>-1</sup> (DUBEUX JÚNIOR e SANTOS, 2005), aplicado dentro do sulco. Após a adubação orgânica, foi feita a fertilização fosfatada usando superfosfato simples (SS) nas quantidades de (10, 15, 20 e 25 g.SS.plantas<sup>-1</sup>) de acordo com o tratamento pré- estabelecido.



Figura 1 Preparo da área para o plantio da palma forrageira: subsolagem (a), gradagem (b), sulcamento (c) e adubação orgânica (d). PATOS-PB, 2008

### 3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi implantado em uma área com dimensões de 80,0 m x 25,5 m (2040 m<sup>2</sup>), totalizando 48 parcelas de dimensões 8,5 m x 5,0 m (42,5 m<sup>2</sup>), conforme visualizado no croqui da figura 2.

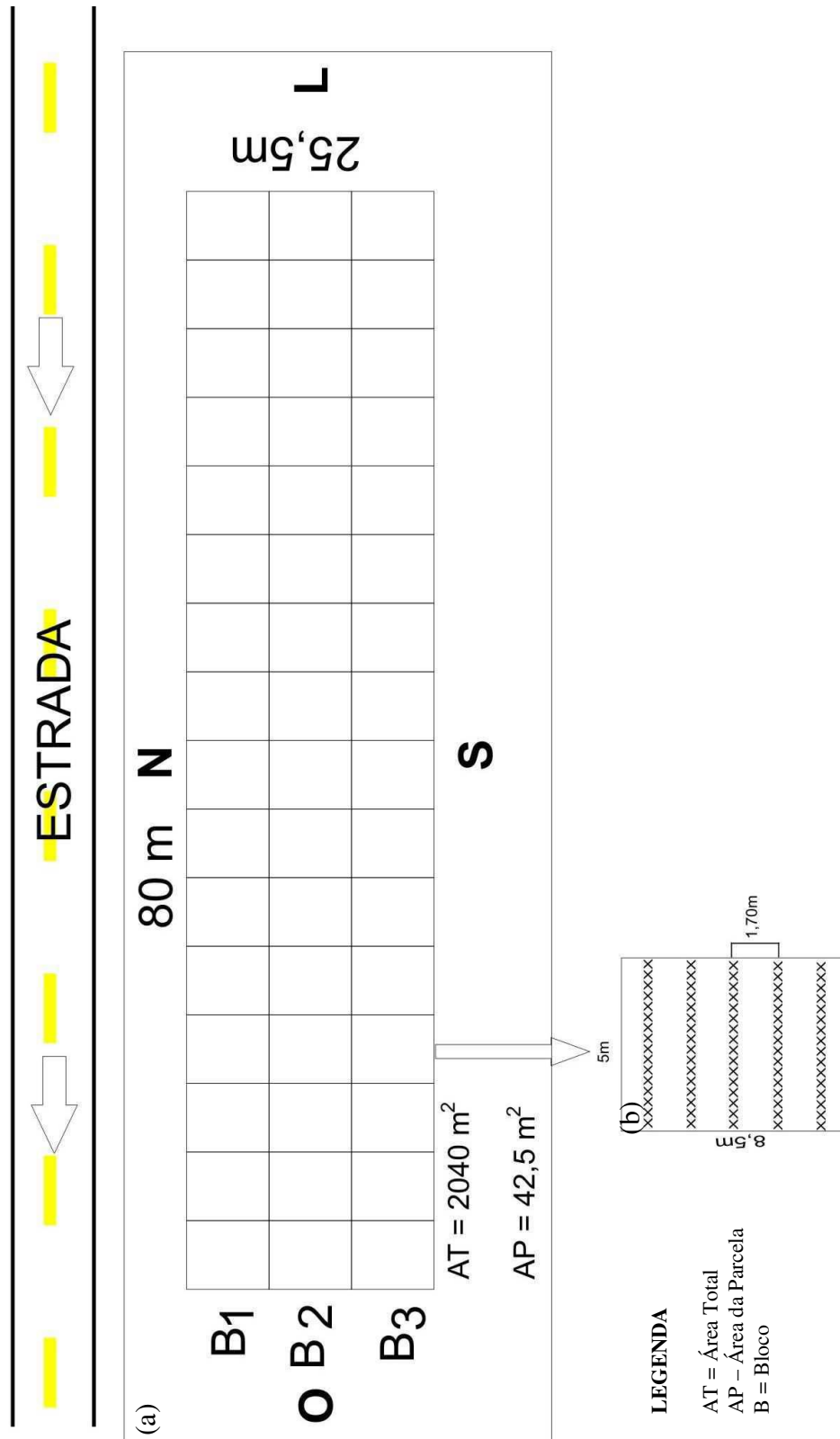


Figura 2 Croqui da área experimental: área total (a) e área da parcela (b)

Utilizando-se raquetes pré-selecionadas de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill (palma forrageira), instalou-se o experimento. Após a coleta permaneceram em repouso, à sombra, por duas semanas (Figura 3a).

As raquetes foram plantadas dentro dos sulcos, dispostas uma após a outra no sentido leste-oeste, distanciadas conforme o espaçamento definido para cada tratamento e com 50 % do seu comprimento abaixo do solo (Figura 3b).

Durante a condução do experimento, realizaram-se três adubações de cobertura, no período das chuvas e com intervalos de 20 dias entre cada uma. Para cada adubação, utilizou-se uréia na quantidade de 220 kg.ha<sup>-1</sup>(SANTOS e LIRA, 1998).

Os tratos culturais foram feitos com o intuito de manter o palmal isento de plantas daninhas. Para tanto, foram feitas três capinas sendo a primeira com o uso da enxada e as outras duas químicas, onde se usou herbicida glifosato (100 ml/ pulverizador de 20 litros) na entrelinha de plantio complementada com capina manual na linha.

O controle fitossanitário constou de uma única aplicação do inseticida folisuper 600 BR (40 ml/pulverizador de 20 litros) para o controle da lagarta do broto.

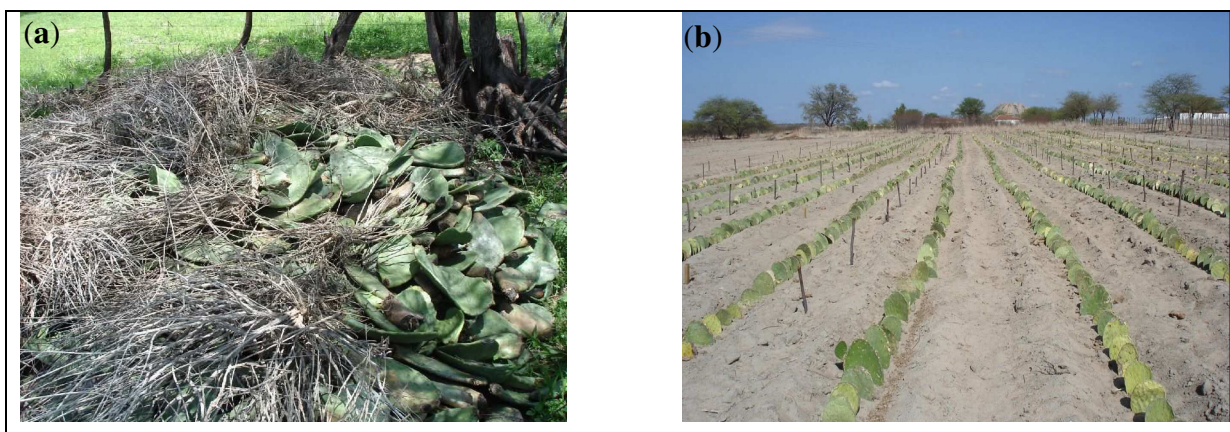


Figura 3 Plantio da palma forrageira: raquetes em repouso (a) e plantio (b). PATOS-PB, 2008

### 3.4 Coleta de amostras de solo

As amostras de solo coletadas em campo foram retiradas pelo método do trado. Efetuaram-se três coletas de solos para determinar comprimento radicular (CR), densidade radicular (DR), análise química e teor de umidade (U). As épocas de coletas foram previamente definidas, tendo a primeira ocorrida aos 120 dias após o plantio (120 DAP), a segunda com 240 dias após o plantio (240 DAP) e a terceira aos 360 dias após o plantio (360 DAP).

No ato da coleta, o trado utilizado era cilíndrico com capacidade para retirar amostras indeformáveis de solo de 3,6cm x 20,0 cm, até a profundidade de 0,20 m. Por ocasião de cada coleta e na área útil da parcela foram retiradas, aleatoriamente, na linha (Figura 4a), duas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm e outras duas na profundidade de 10-20 cm, com idêntico procedimento na entrelinha (Figura 4b), totalizando ao final do trabalho com a retirada de 384 amostras de solo na área experimental. Utilizaram-se estas amostras para avaliação do sistema radicular. Outras 48 amostras foram coletadas, sendo uma em cada parcela, cuja finalidade foi análise química e determinação do teor de umidade.

Em campo, as amostras de solo para avaliação do sistema radicular e as destinadas à análise química e do teor de umidade foram individualmente acondicionadas em sacos plásticos (Figura 4c). As amostras usadas na avaliação do sistema radicular foram transportadas para ambiente sob refrigeração a -18°C e mantidas nele até o momento das avaliações, enquanto as amostras destinadas à análise química e do teor de umidade foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Escola Agrotécnica Federal de Sousa-PB.

As amostras de solo colocadas sob refrigeração foram retiradas, à medida que eram analisadas. Neste procedimento foram colocadas em becker de 1000 ml, submersas em água de torneira por alguns minutos, agitadas com bastão de vidro, passadas em peneira com malha de 1,0 mm e lavadas em água corrente até a completa separação das raízes do solo. Após a lavagem, transferiram-se as raízes para placas-de-petri e submetidas à avaliação utilizando-se o método da interseção descrito por TENNANT (1975). A placa contendo as raízes foi colocada sobre folha de papel quadriculada (grade) de 1,0 cm, e por meio de uma lupa com iluminação foram contadas as intersecções de raízes com as linhas horizontais e verticais da grade (Figura 4d).



Figura 4 Coleta e análise das amostras de solo: linha (a), entrelinha (b), acondicionamento (c) e contagem de raízes (d). PATOS-PB, 2008.

Para o cálculo do comprimento de raízes foi utilizada a fórmula de TENNANT, para grade de 10 cm:

$$R = 11/14.N.G$$

Onde:

R = Comprimento de raízes (cm)

N = Número de intersecções

G = Tamanho da grade

O resultado para comprimento de raízes foi expresso em  $\text{cm} \cdot 101,74 \text{ cm}^{-3}$ .

O cálculo da densidade de raízes ( $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) foi realizado dividindo-se o comprimento (R) obtido pelo volume da amostra de solo ( $101,74 \text{ cm}^{-3}$ ).

### 3.5 Delineamento experimental e análise estatística

Os tratamentos foram definidos pela combinação dos quatro espaçamentos utilizados (10, 15, 20 e 25 cm entre plantas) e quatro doses de fósforo (10, 15, 20 e 25  $\text{g} \cdot \text{SS} \cdot \text{planta}^{-1}$ ). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial 4 x 4, com três repetições.

As diferentes combinações dos espaçamentos e doses de fósforo resultaram nos tratamentos relacionados na tabela 3.

Tabela 3 Espaçamento entre plantas (E) e doses de Superfosfato Simples (SS) no cultivo da palma forrageira em Patos-PB

TRATAMENTO	E cm	SS g.SS.planta <sup>-1</sup>	TRATAMENTO	E cm	SS g. SS.planta <sup>-1</sup>
E <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	10	10	E <sub>3</sub> P <sub>1</sub>	20	10
E <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	10	15	E <sub>3</sub> P <sub>2</sub>	20	15
E <sub>1</sub> P <sub>3</sub>	10	20	E <sub>3</sub> P <sub>3</sub>	20	20
E <sub>1</sub> P <sub>4</sub>	10	25	E <sub>3</sub> P <sub>4</sub>	20	25
E <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	15	10	E <sub>4</sub> P <sub>1</sub>	25	10
E <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	15	15	E <sub>4</sub> P <sub>2</sub>	25	15
E <sub>2</sub> P <sub>3</sub>	15	20	E <sub>4</sub> P <sub>3</sub>	25	20
E <sub>2</sub> P <sub>4</sub>	15	25	E <sub>4</sub> P <sub>4</sub>	25	25

As análises estatísticas dos dados obtidos foram realizadas por meio do programa ASSISTAT (2008).

Inicialmente, os resultados coletados foram submetidos à análise de variância e a significância dos fatores de variação (espaçamento-E, dose de fósforo-P e a interação entre estes-E x P), sendo avaliados pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Em seguida, como os tratamentos são quantitativos, fez-se a comparação destes, com a utilização de regressão polinomial, onde foram evidenciados os efeitos linear e quadrático.

Tabela 4 Esquema de análise de variância do experimento

FONTE DE VARIAÇÃO (FV)	GRAUS DE LIBERDADE (GL)
ESPAÇAMENTO (E)	03
FÓSFORO (P)	03
E X P	09
TRATAMENTO	15
BLOCO	02
RESÍDUO	30
TOTAL	47



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise de regressão para distribuição radicular da palma forrageira, aos 120 dias após o plantio (DAP)

Os resumos das análises de variância estão apresentados nos quadros de 1 a 8 (Apêndice A).

Notou-se que, para época de 120 DAP, a interação entre os fatores espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples foi não significativa ( $p>0,05$ ). Fez-se análise de regressão para os fatores individualmente, sendo discutidos os efeitos lineares que apresentaram contribuição significativa com  $R^2$  maior que 60 %.

#### 4.1.1 Comprimento radicular na linha de plantio

Na figura 5 está apresentada a relação entre as variáveis doses de superfosfato simples e comprimento de raízes.

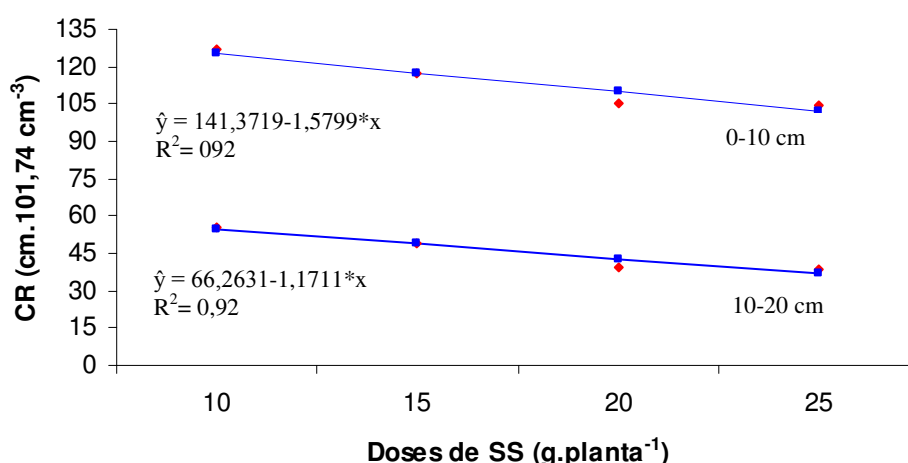


Figura 5 Efeito das doses de superfosfato simples (SS) no comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha de plantio (0 – 10 cm e 10-20 cm) aos 120 DAP

A análise de regressão aplicada aos valores de comprimento de raízes na cultura da palma forrageira, na linha de plantio e profundidade de 0-10 cm (Figura 5), mostrou significância para os efeitos lineares negativos ( $p=0,035$ ), ou seja, o comprimento radicular diminuiu significativamente de acordo com as doses crescentes de superfosfato simples. O comprimento radicular máximo de 125,57 cm aconteceu na dosagem de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup>. Observou-se que a quantidade de raízes produzida pela dose mínima de superfosfato simples é 7 %, 14 % e 23 % superior, quando comparada com as doses de 15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup>. A

equação que melhor expressou essa relação entre comprimento de raízes e as doses do superfosfato simples foi a  $\hat{y} = 141,3719 - 1,5799*x$ , com  $R^2 = 0,92$ .

Na profundidade de amostragem de 10-20 cm (Figura 5), observou-se que o comprimento radicular respondeu linearmente de forma negativa às doses de superfosfato simples ( $p=0,045$ ). A dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> mostrou maior comprimento de raízes (54,55 cm), valor este maior do que a verificada nas doses 15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup>, em 12 %, 27 % e 47 %, respectivamente. A equação  $\hat{y} = 66,2631 - 1,1711*x$ , com  $R^2 = 0,92$  expressou da melhor forma a relação entre as variáveis envolvidas.

#### 4.1.2 Densidade radicular na linha de plantio

A figura 6 mostra a correlação entre as doses de superfosfato simples e a densidade de raízes.

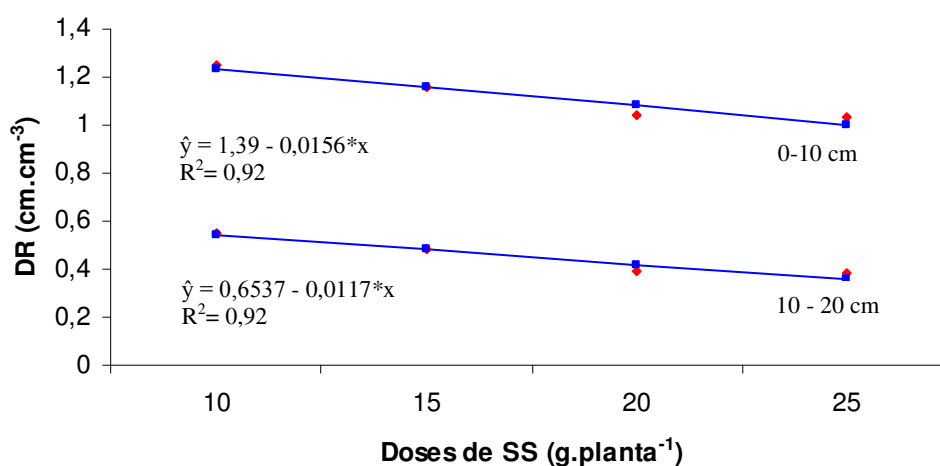


Figura 6 Efeito das doses de superfosfato simples (SS) na densidade radicular (DR) da palma forrageira na linha de plantio (0 – 10 cm e 10 – 20 cm) aos 120 DAP

A densidade radicular na linha de plantio, profundidade de 0-10 cm (Figura 6), apresentou para o fator doses de superfosfato simples, conforme análise de regressão, efeito significativo linear negativo ( $p=0,035$ ). A menor dose de superfosfato simples promoveu a máxima densidade de raízes (1,23 cm. cm<sup>-3</sup>), enquanto as doses mais altas (15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup>) tiveram a densidade radicular inferior em 6 %, 14 % e 23 %, respectivamente. Observou-se que a equação  $\hat{y} = 1,39 - 0,0156*x$ , com  $R^2 = 0,92$  foi a que relacionou as variáveis densidades de raízes e dosagens de superfosfato simples.

Para a profundidade de 10-20 cm (Figura 6), observou-se significância ( $p=0,043$ ) para a relação entre as doses de superfosfato simples e a densidade radicular, tendo os resultados se

ajustado ao modelo de regressão de primeiro grau. O incremento na dose do fertilizante fosfatado resultou em redução na densidade de raízes. A menor dose (10 g.SS.planta<sup>-1</sup>) gerou a maior densidade de raízes (0,54 cm.cm<sup>-3</sup>), superando o total de raízes produzidas pelas doses 15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup>, em 13 %, 29 % e 50 %, respectivamente. A equação de regressão  $\hat{y} = 0,6537 - 0,0117*x$ , com  $R^2 = 0,92$ , foi a que melhor retratou a relação entre as variáveis.

O estudo analítico do desempenho do superfosfato simples aos 120 DAP demonstrou que, à medida que foram aumentadas as doses da fonte de fósforo ocorreu à redução na quantidade de raízes. Este mesmo comportamento foi observado por Rosolem e Marcelo (1998), que ao estudarem a cultura da soja, verificaram que o uso crescente de doses de fósforo causou redução no crescimento radicular. O fato de pequenas dosagens de fósforo serem responsáveis pelo maior crescimento do sistema radicular é comum, havendo respostas acentuadas das culturas a pequenas aplicações de fosfatos solúveis, de maneira localizada, situação que estimula o desenvolvimento radicular, oferecendo-lhes condições de obterem os demais nutrientes (GOEDERT et al., 1986). Já Peryea (1990), explica que em adubações localizadas, o uso de maiores concentrações de adubo fosfatado pela toxidez provocar uma menor distribuição radicular, enquanto Anghinoni e Meurer (1999) creditam ao aumento do suprimento de fósforo às raízes o motivo que afeta o seu crescimento. A partir do momento em que a disponibilidade de fósforo atende à demanda da planta, o fósforo adicional e os fotoassimilados são direcionados ao crescimento da parte aérea.

A espécie *Opuntia ficus indica* (L.) Mill, segundo Snyman (2004b), em experimento realizado na África do Sul, foi verificado que cerca de 11 % da sua biomassa total são raízes. Esta constatação, provavelmente, explique o comportamento observado no experimento, onde o palmar obteve na menor dosagem a quantidade suficiente de fotoassimilados para atender o crescimento radicular, ocorrendo nas doses maiores o direcionamento destes para a parte aérea.

#### **4.2 Análise de regressão, para distribuição radicular da palma forrageira, aos 240 dias após o plantio (DAP)**

Uma síntese dos resultados das análises de variância encontra-se nos quadros 9 a 16 (Apêndice B).

Os dados da distribuição radicular da palma forrageira, aos 240 DAP, mostraram que não houve significância ( $p > 0,05$ ) para a interação entre os fatores espaçamentos entre plantas

e doses de superfosfato simples. Para tanto, realizou-se análise de regressão, sendo discutidos os efeitos lineares e quadráticos que descreveram o relacionamento entre as variáveis.

#### 4.2.1 Comprimento radicular na linha e entrelinha de plantio

O tipo de relação entre as doses/espacamento e o comprimento de raízes pode ser observado nas figuras 7 e 8.

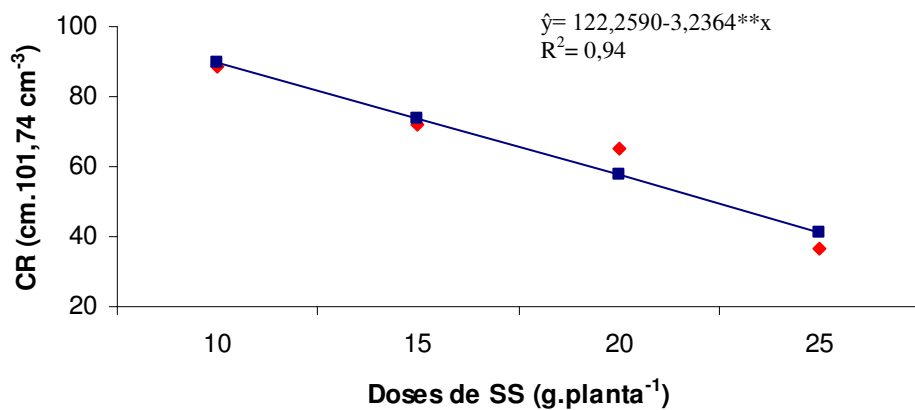


Figura 7 Efeito das doses de superfosfato simples (SS) no comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha de plantio (10 – 20 cm) aos 240 DAP

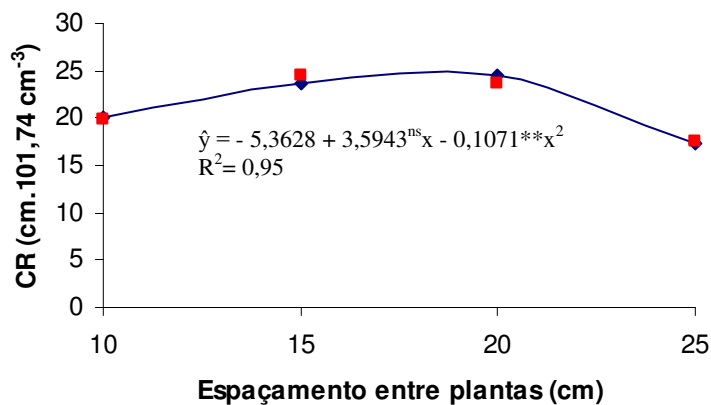


Figura 8 Efeito dos espaçamentos entre plantas no comprimento radicular (CR) da palma forrageira na entrelinha de plantio (10 – 20 cm) aos 240 DAP

Na linha de plantio e profundidade de 10-20 cm (Figura 7), notou-se que as doses de superfosfato simples mostraram significância ( $p < 0,001$ ) para o efeito linear negativo. Verificou-se o maior comprimento de raízes (89,9 cm) na dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> tendo esta superada a quantidade de raízes das dosagens 15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup> em 22 %, 56 % e 117 %, respectivamente. A equação que melhor expressou essa relação foi a  $\hat{y} = 122,2590 - 3,2364**x$ , com  $R^2 = 0,94$ .

Na entrelinha de plantio e profundidade de 10-20 cm (Figura 8), o comprimento radicular aumentou de forma quadrática de acordo com os espaçamentos entre plantas. Verificou-se que o comprimento radicular máximo de 24,80 cm ocorreu no espaçamento de 17 cm. A equação  $\hat{y} = -5,3628 + 3,5943^{ns}x - 0,1071^{**}x^2$ , com  $R^2 = 0,95$  explica da melhor maneira a relação entre as variáveis.

#### 4.2.2 Densidade radicular na linha e entrelinha de plantio

As figuras 9 e 10 mostram como se relacionam os espaçamentos entre plantas e as doses de superfosfato simples com a densidade de raízes.

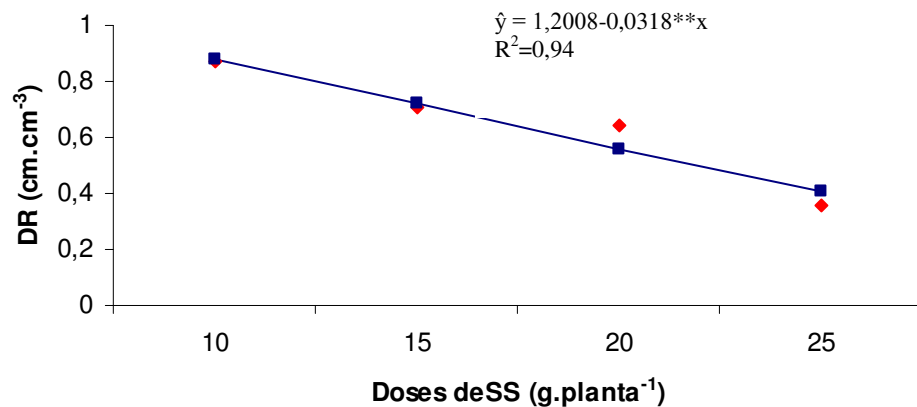


Figura 9 Efeito das doses de superfosfato simples (SS) na densidade radicular (DR) da palma forrageira na linha de plantio (10 – 20 cm) aos 240 DAP

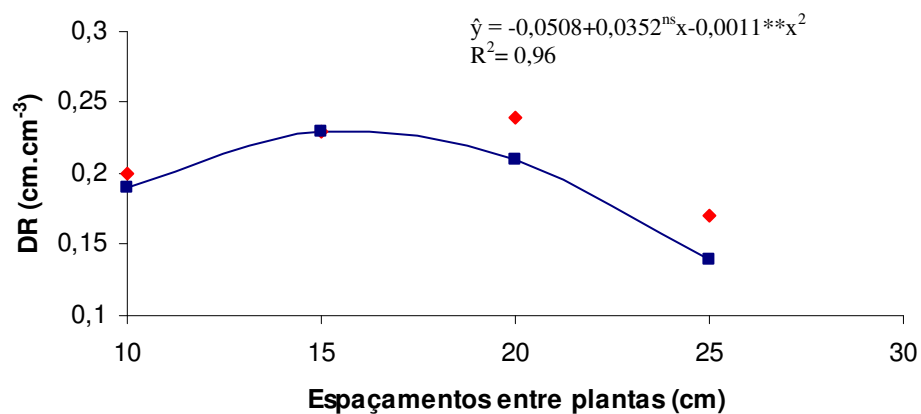


Figura 10 Efeito dos espaçamentos entre plantas na densidade radicular (DR) da palma forrageira na entrelinha de plantio (10 – 20 cm) aos 240 DAP

Quanto à densidade de raízes na linha de plantio e profundidade de 10-20 cm (Figura 9), verificou-se que as doses de superfosfato simples apresentaram correlação linear negativa

com a densidade radicular. Assim, à medida que aumentaram as doses de fósforo ocorreu diminuição na quantidade de raízes. Percebeu-se que a dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> respondeu com a maior densidade radicular (0,88 cm.cm<sup>-3</sup>), valor este superior aos ocorridos nas doses de 15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup>, em 22 %, 57 % e 114 %, respectivamente. A equação que expressa esta relação entre densidade radicular e doses de superfosfato simples foi a  $\hat{y} = 1,2008 - 0,0318^{**}x$ , com  $R^2 = 0,94$  e  $p < 0,001$ .

Já à densidade de raízes na entrelinha de plantio e profundidade de 10-20 cm (Figura 10), ocorreu efeito quadrático nos espaçamentos entre plantas. Notou-se um aumento na densidade radicular, que atinge o resultado máximo (0,23 cm.cm<sup>-3</sup>) no espaço de 15 cm entre plantas, para depois mostrar tendência de diminuição. A equação  $\hat{y} = -0,0508 + 0,0352^{ns}x - 0,0011^{**}x^2$ , com  $R^2 = 0,96$  e  $p = 0,004$  foi a que melhor representou a relação entre o espaçamento entre plantas e a densidade radicular.

Para Souto et al. (1992), quando pesquisavam a distribuição radicular da aveia preta, concluíram que a densidade de plantas não influenciou significativamente no seu desenvolvimento radicular. Enquanto isso, Pinto (2002), ao estudar o comportamento das raízes da palma forrageira nas condições ecológicas do cariri ocidental da Paraíba-Brasil, concluiu que o maior espaçamento de plantio utilizado resultou em um maior desenvolvimento radicular. Já Santos et al. (2006), perceberam a tendência de maior desenvolvimento radicular em plantios adensados.. Ruiz-Espinoza et al. (2008), pesquisando o comportamento de cinco cultivares de *Opuntia ficus-indica* em solo Mexicano, verificaram que o plantio adensado resultou em um significativo aumento de produtividade, tanto em matéria verde e seca. Maiores densidades de plantio contribuem para o aumento da taxa de assimilação líquida, e esta possui estreita relação com o índice de área foliar.

Quanto ao desempenho do fósforo, Catarina et al. (2007), ao testarem cinco doses de fósforo na cultura do milho (*Zea mays*), observaram comportamento quadrático deste no comprimento radicular, onde esta variável cresceu mais aparentemente até a dose de 100 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Donega et al. (2007), quando estudaram o uso de seis dosagens de casca de arroz carbonizado, material rico em fósforo, constataram o efeito quadrático deste material no crescimento radicular do milho.

Esses valores de distribuição radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, observados neste experimento sugerem uma maior viabilidade do uso desta espécie na recuperação de áreas, cujos solos possuem restrições quanto à disponibilidade deste nutriente.

### 4.3 Análise de regressão, para distribuição radicular da palma forrageira, aos 360 dias após o plantio (DAP)

Nos quadros 17 a 24 (Apêndice C) estão transcritos os resumos das análises de variância.

Verificou-se que, para a época de 360 DAP, não ocorreu interação significativa ( $p = 0,05$ ) entre os fatores espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples. Então, procedeu-se à análise de regressão para os fatores individualmente, com discussão dos efeitos lineares e quadráticos que marcaram as relações entre as variáveis.

#### 4.3.1 Comprimento radicular na linha e entrelinha de plantio

Nas figuras 11 e 12 estão apresentados os resultados da análise de regressão entre os fatores espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples em relação ao comprimento radicular.

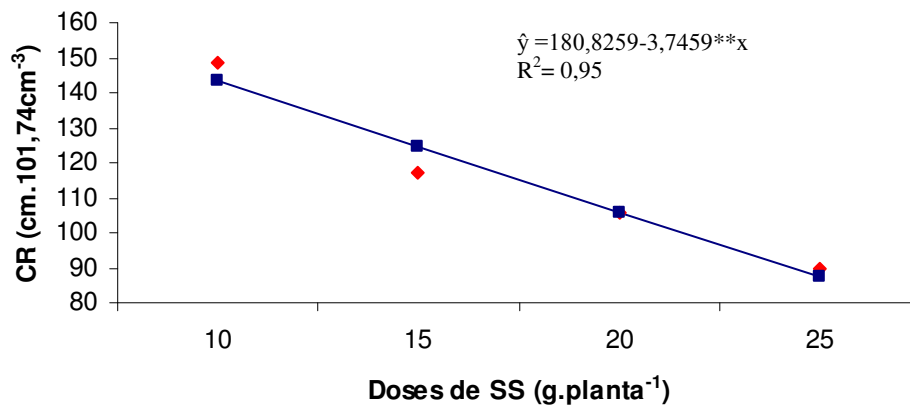


Figura 11 Efeito das doses de superfosfato simples (SS) no comprimento radicular (CR) da palma forrageira na linha de plantio (10 – 20 cm) aos 360 DAP

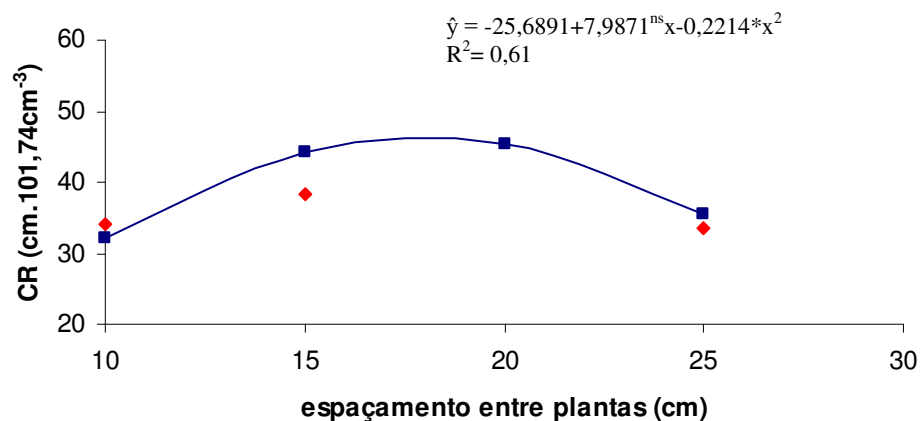


Figura 12 Efeito dos espaçamentos entre plantas no comprimento radicular (CR) da palma forrageira na entrelinha de plantio (10 – 20 cm) aos 360 DAP

A análise de regressão aplicada aos resultados de comprimento de raízes, na linha de plantio profundidade de 10-20 cm (Figura 11), mostrou que os dados se ajustaram ao modelo de regressão linear negativo, ou seja, à medida que aumentaram as dosagens do fertilizante diminuiu de forma significativa ( $p = 0,008$ ) o comprimento radicular. Verificou-se que a dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> resultou em um comprimento radicular de 143,37 cm, valor superior aos ocorridos nas aplicações de 15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup> em 15 %, 35 % e 65 %, respectivamente. A equação  $\hat{y} = 180,8259 - 3,7459**x$ , com  $R^2 = 0,95$  expressou da melhor maneira essa relação entre variáveis, sendo x as doses de superfosfato simples.

Para a entrelinha de plantio, na profundidade de 10-20 cm (Figura 12), o comprimento de raízes, conforme efeito quadrático aumentou significativamente ( $p = 0,04$ ) de acordo com o espaçamento entre plantas, atingindo o comprimento máximo de 46,35 cm no espaçamento de 18 cm. A equação que mostrou corretamente essa relação foi a  $\hat{y} = -25,6891 + 7,9871^{ns}x - 0,2214*x^2$ , com  $R^2 = 0,61$ .

#### 4.3.2 Densidade radicular na linha e entrelinha de plantio

As figuras 13 e 14 mostram a relação entre os espaçamentos entre plantas e as doses de superfosfato simples com a densidade de raízes.

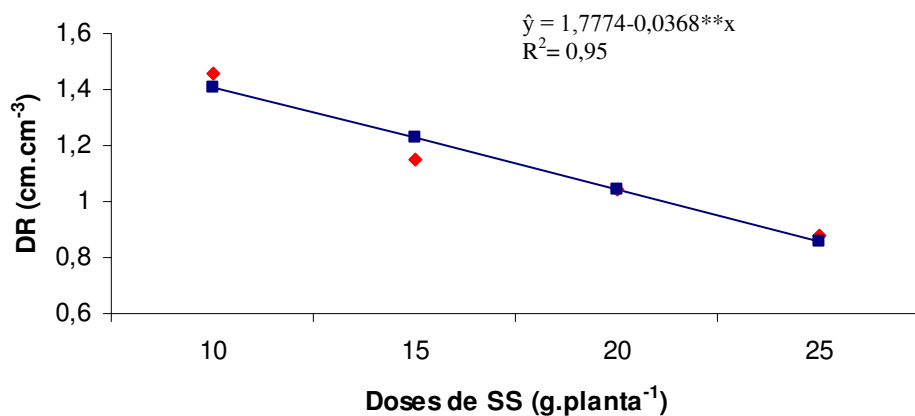


Figura 13 Efeito das doses de superfosfato simples (SS) na densidade radicular (DR) da palma forrageira na linha de plantio (10 – 20 cm) aos 360 DAP



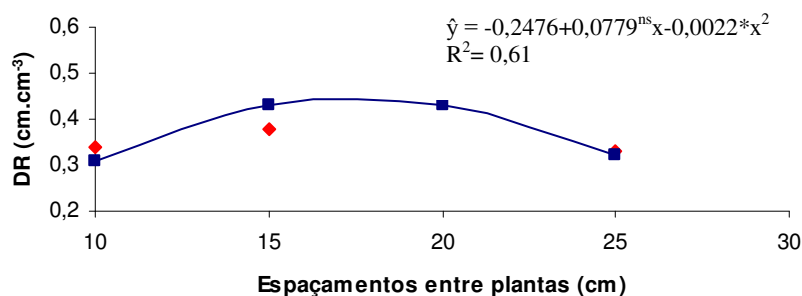


Figura 14 Efeito dos espaçamentos entre plantas na densidade radicular (DR) da palma forrageira na entrelinha de plantio (10 – 20 cm) aos 360 DAP

A densidade radicular na linha de plantio e profundidade de 10-20 cm (Figura 13) mostrou o desempenho significativo do superfosfato simples ( $p = 0,0083$ ), onde os valores de densidade radicular se ajustaram ao modelo linear negativo de regressão, indicando que o aumento da dose de superfosfato simples provocou redução na densidade de raízes. Observou-se que, na dose de  $10 \text{ g.SS.planta}^{-1}$ , a densidade radicular foi de  $1,41 \text{ cm.cm}^{-3}$ , resultado que superou em 15 %, 36 % e 64 % o total de raízes encontradas nas dosagens de 15, 20 e 25  $\text{g.SS.planta}^{-1}$ . A equação de regressão que melhor expressou a relação entre as variáveis foi  $\hat{y} = 1,7774 - 0,0368x$ , com  $R^2 = 0,95$ .

Na entrelinha de plantio e profundidade de 10-20 cm (Figura 14), observou-se significância ( $p = 0,042$ ) para os valores individuais de espaçamentos entre plantas e a densidade radicular, com os resultados tendo ajuste ao modelo de regressão de segundo grau. O espaçamento de 18 cm entre plantas proporcionou o valor máximo de densidade de raízes ( $0,44 \text{ cm.cm}^{-3}$ ). A equação  $\hat{y} = -0,2476 + 0,0779x - 0,0022x^2$ , com  $R^2 = 0,61$  mostrou da melhor maneira essa relação entre as variáveis.

De um modo geral, fazendo-se uma análise do efeito dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples na distribuição radicular da palma forrageira, verificou-se para o primeiro fator, que Souto et al. (1992), quando pesquisavam a distribuição radicular da aveia preta, concluíram que a densidade de plantas não influenciou significativamente no seu desenvolvimento radicular. Enquanto isso, Pinto (2002), ao estudar o comportamento das raízes da palma forrageira nas condições ecológicas do cariri ocidental da Paraíba-Brasil, concluiu que o maior espaçamento de plantio utilizado resultou em um maior desenvolvimento radicular. Santos et al. (2006), constataram uma tendência de maior desenvolvimento do sistema radicular da palma forrageira em áreas cultivadas com o uso da tecnologia do adensamento.

Para o fator superfosfato simples, a sua atuação em relação à distribuição radicular na cultura da palma forrageira corrobora a observação de Goedert et al. (1986), que verificou serem freqüentes respostas acentuadas das culturas a pequenas aplicações de fosfatos solúveis, de maneira localizada, fato que estimula o desenvolvimento radicular, dando às culturas condições de obterem os demais nutrientes e fazendo com que os fertilizantes fosfatados tenham um papel importante no sistema de produção agrícola. Este comportamento foi observado por Rosolem e Marcello (1998), que ao estudarem a cultura da soja, observaram que o uso crescente de doses de fósforo causou redução no crescimento radicular. A espécie *Opuntia ficus indica* (L.) Mill, segundo Snyman (2004b) em experimento realizado na África do Sul, foi verificado que apenas 11 % da sua biomassa total são raízes. Esta constatação, provavelmente, ajude a explicar o comportamento observado na pesquisa, onde a palma forrageira obteve na menor dosagem a quantidade suficiente de fotoassimilados para atender ao crescimento radicular, ocorrendo nas doses maiores o direcionamento destes para a parte aérea.

#### 4.4 Valores médios de densidade radicular da palma forrageira

Na tabela 5, estão apresentados os dados de densidade radicular da palma forrageira, nas diferentes épocas e profundidade de amostragem.

Tabela 5 Valores médios de densidade radicular (DR) da palma forrageira, na linha e entrelinha de plantio, em função da época e profundidade de amostragem

Linha						
Profundidade cm	DR (cm.cm <sup>-3</sup> )			DR (%)		
	120 DAP	240 DAP	360 DAP	120DAP	240DAP	360DAP
0 – 10	1,12 (24,54)*	1,24 (24,34)	2,29 (25,94)	71,34	65,96	66,96
10 – 20	0,45 (47,56)	0,64(40,46)	1,13 (44,55)	28,66	34,04	33,04

Entrelinha						
Profundidade cm	DR (cm.cm <sup>-3</sup> )			DR (%)		
	120 DAP	240 DAP	360 DAP	120DAP	240DAP	360DAP
0 – 10	0,62 (48,21)*	0,40 (36,79)	0,60 (58,22)	62,00	65,57	60,61
10 – 20	0,38 (42,13)	0,21 (27,86)	0,39 (45,59)	38,00	34,43	39,39

\* Valores referentes ao CV(%).

Verificou-se em valores absolutos que, na linha e profundidade de 0-10 cm, ocorreu a maior concentração de raízes da palma forrageira nas três épocas avaliadas. Na entrelinha, observou-se o mesmo comportamento. Estes resultados comprovam a superficialidade do sistema radicular da palma forrageira, tendo este trabalho demonstrado que a maior concentração de raízes aconteceu nos primeiros 10 cm de profundidade do solo. Esta informação é corroborada por Snyman (2005), que desenvolvendo trabalhos com duas espécies de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller e *Opuntia robusta* Wendl), na África do Sul, concluiu serem superficiais as raízes desta planta, encontrando o maior percentual nos primeiros 10 cm do solo.

Zúñiga-Tarango et al. (1999), Pinto (2002) e Snyman (2006a), cujos trabalhos de pesquisas foram feitos no México, Brasil e África do Sul, respectivamente, relatam que a maior quantidade de raízes da palma forrageira se concentrou na camada de 0-18 cm, 0-20 cm e 0-15 cm, respectivamente. No caso específico da pesquisa de Zúñiga-Tarango et al. (1999), constatou-se que 96 % da massa radicular se concentraram na camada de 0-18 cm de profundidade.

Comparando-se os resultados obtidos na linha de plantio com os da entrelinha, na profundidade de 0-10 cm, notaram-se a superioridade destes em 81 %, 210 % e 280 %, respectivamente, para as épocas 120 DAP, 240 DAP e 360 DAP. Na profundidade de 10-20 cm, estes números corresponderam a 18 %, 205 %, e 190 %. Percebeu-se, neste caso, que independente da profundidade avaliada, a maior quantidade de raízes se localizou na linha de plantio.

Estes resultados são importantes e servem de subsídios para futuras pesquisas, que busquem um manejo racional para a cultura da palma forrageira na zona fisiográfica do sertão paraibano.

#### **4.5 Distribuição radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 120 dias após o plantio (DAP)**

Os resultados de comprimento e densidade radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 120 DAP estão apresentados nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 Comprimento radicular ( $\text{cm} \cdot 101,74 \text{ cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 120 DAP

Doses de SS. $\text{g.planta}^{-1}$	Espaçamento entre planta	120 DAP				
		cm	Linha		Entrelinha	
			0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10	129,43	33,54	71,00	45,20	
	15	132,83	63,40	62,36	30,39	
	20	121,18	72,44	95,11	41,53	
	25	124,58	51,61	84,10	42,84	
	Média	127,00	55,25	78,14	39,99	
15	10	104,41	63,54	57,64	25,94	
	15	137,81	46,37	57,51	44,67	
	20	97,86	47,82	49,00	28,43	
	25	130,35	39,17	70,61	44,80	
	Média	117,61	49,22	58,69	35,96	
20	10	106,24	42,18	60,65	31,44	
	15	98,25	50,96	77,29	31,96	
	20	87,64	26,59	85,02	48,08	
	25	130,35	39,04	53,06	30,39	
	Média	105,62	39,69	69,00	35,47	
25	10	74,02	47,29	54,63	52,40	
	15	132,83	49,52	38,65	44,15	
	20	118,82	31,70	52,27	36,42	
	25	93,01	27,12	46,51	34,85	
	Média	104,67	38,91	48,01	41,95	
C.V. (%)		24,51	47,52	48,26	41,85	

Tabela 7 Densidade radicular ( $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 120 DAP

Doses de SS. $\text{g.planta}^{-1}$	Espaçamento entre planta	120 DAP				
		cm	Linha		Entrelinha	
			0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10	1,27	0,33	0,70	0,44	
	15	1,30	0,62	0,62	0,30	
	20	1,19	0,71	0,94	0,41	
	25	1,23	0,52	0,83	0,42	
	Média	1,25	0,55	0,77	0,39	
15	10	1,03	0,62	0,57	0,25	
	15	1,35	0,45	0,57	0,44	
	20	0,96	0,47	0,48	0,28	
	25	1,28	0,38	0,69	0,44	
	Média	1,16	0,48	0,58	0,35	
20	10	1,04	0,41	0,59	0,31	
	15	0,96	0,50	0,76	0,31	
	20	0,86	0,26	0,84	0,47	
	25	1,28	0,38	0,52	0,30	
	Média	1,04	0,39	0,68	0,35	
25	10	0,72	0,46	0,54	0,51	
	15	1,31	0,49	0,38	0,43	
	20	1,17	0,31	0,51	0,36	
	25	0,91	0,26	0,46	0,34	
	Média	1,03	0,38	0,47	0,41	
C.V. (%)		24,54	47,56	48,21	42,13	

Observa-se nestas tabelas que, mesmo sendo dados de grandezas diferentes, o comportamento médio dos resultados na linha e entrelinha dentro de cada profundidade e em função das doses de superfosfato simples teve o mesmo comportamento, razão pela qual se optou por discuti-los simultaneamente.

Fez-se uma discussão comparativa, dando ênfase aos valores médios de comprimento e densidade de raízes em virtude da análise estatística ter revelado ausência de interação significativa ( $p > 0,05$ ) entre os fatores doses de fósforo e espaçamentos entre plantas.

Na linha de plantio e na profundidade de 0-10 cm (Tabela 6), a dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> proporcionou o maior valor em comprimento médio de raízes (127 cm). A partir da dose 15 g.SS.planta<sup>-1</sup>, esses valores foram inversamente proporcionais às dosagens de superfosfato simples. Na profundidade de 10-20 cm, verificou-se o mesmo comportamento ocorrido na profundidade anterior.

Na entrelinha de plantio e na profundidade de 0-10 cm, o maior comprimento médio radicular (78,14 cm) ocorreu na dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup>. Este resultado é superior aos verificados nas dosagens de 15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup> em 33 %, 13 % e 63 %, respectivamente. Para a profundidade de 10-20 cm, notou-se que a dose de 25 g.SS.planta<sup>-1</sup> foi a que expressou o maior comprimento médio de raízes (41,95 cm). Quanto às doses 10, 15 e 20 g.SS.planta<sup>-1</sup>, estas tiveram um desempenho inferior a dose máxima em 5 %, 17 % e 18 %, respectivamente.

Os valores médios de densidade de raízes da palma forrageira, transcritos na tabela 7, mostraram o mesmo comportamento que se observou para o comprimento radicular.

Os dados obtidos neste trabalho (Tabela 6), quando comparados aos de Cavalcanti e Resende (2007), conforme pesquisas feitas no estado do Pernambuco-Brasil em condições de casa de vegetação, mostram que o comprimento radicular do mandacaru (*Cereus jamacaru*) de 33,00 cm e facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) de 32,50 cm, aos 360 DAP, são inferiores às médias observadas para a palma. Quanto aos valores de densidade radicular (Tabela 7), linha de plantio e profundidade de 0-10 cm estão em conformidade com as observações de Barber (1995), que verificou variação na densidade de raízes. Para as culturas anuais, na profundidade de 0-15 cm, varia de 1 a 5 cm.cm<sup>-3</sup>, enquanto para as gramíneas forrageiras o valor supera 50 cm.cm<sup>-3</sup>.

Analisando os resultados de distribuição radicular na linha e entrelinha de plantio, à medida que se distanciou do caule, notou-se a inferioridade destes, em profundidade e horizontalmente. A maior distribuição de raízes nos primeiros 10 cm do solo indica a influência da maior fertilidade natural desta camada juntamente com a adubação mineral e

orgânica que foi realizada. Esta característica do sistema radicular da palma forrageira, além de ajudá-la a se beneficiar dos baixos índices pluviométricos, confere a mesma uma maior capacidade de competir com as outras espécies (DOUGHERTY et al., 1996). Segundo Santos et al. (1994), a superficialidade das raízes desta planta pode ser atribuída além da maior concentração de nutrientes na superfície do solo, a uma característica genética não só da palma, mas das cactáceas em geral. Esta constatação corrobora com Gonçalves (1995), ao afirmar que a maior quantidade de raízes das culturas está nas primeiras camadas do solo. Para Mello et al. (1998), existem evidências de que seja a oferta de nutrientes a causa principal a influenciar a densidade radicular nas camadas superficiais do solo (< 30 cm).

Quanto à diminuição das raízes, à medida que se distancia do caule, vêm ao encontro das pesquisas de Snyman (2005), que ao estudar as espécies *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia robusta* na África do Sul, verificou, para ambas, uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) do comprimento radicular, à medida que se distanciou horizontalmente e em profundidade do caule.

No que se refere ao efeito das doses de superfosfato simples na distribuição radicular, notou-se que de forma comparativa e independente das outras variáveis analisadas, que a dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> apresentou 75 % dos maiores valores médios de comprimento e densidade de raízes. Este resultado sugere para uma maior viabilidade no uso desta cultura, nas áreas onde os solos apresentam restrições quanto à disponibilidade em fósforo e confirmam as observações de Anghinoni e Meurer (1999) de que no geral, à medida que se aumenta a disponibilidade do fósforo, ocorre um menor crescimento radicular em razão da incorporação preferencial dos fotoassimilados nos órgãos aéreos.

#### **4.6 Distribuição radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 240 dias após o plantio (DAP)**

Nas tabelas 8 e 9, estão os dados de comprimento e densidade radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 240 DAP.

Tabela 8 Comprimento radicular ( $\text{cm} \cdot 101,74 \text{ cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 240 DAP

Doses de SS. g.planta <sup>-1</sup>	Espaçamento entre planta	240 DAP				
		cm	Linha		Entrelinha	
			0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10	130,74	102,57	38,78	18,47	
	15	103,36	100,74	55,54	17,03	
	20	159,43	77,29	39,56	24,24	
	25	126,28	72,84	40,87	15,46	
	Média	129,95	88,36	43,69	18,80	
15	10	138,99	50,70	26,33	20,96	
	15	115,15	80,30	45,33	29,08	
	20	125,11	76,77	45,46	21,62	
	25	139,52	80,96	42,18	13,23	
	Média	129,69	72,18	39,82	21,22	
20	10	149,47	72,18	26,59	18,60	
	15	120,91	57,38	58,95	25,55	
	20	147,51	67,86	30,39	22,27	
	25	115,94	63,40	46,37	24,24	
	Média	133,46	65,21	40,58	22,66	
25	10	122,09	54,63	39,69	22,53	
	15	65,76	23,97	35,89	22,93	
	20	118,42	36,94	49,91	29,87	
	25	137,42	31,44	30,39	16,24	
	Média	110,92	36,75	38,97	22,89	
C.V. (%)		24,29	40,42	36,68	27,53	

Tabela 9 Densidade radicular ( $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 240 DAP

Doses de SS. g.planta <sup>-1</sup>	Espaçamento entre planta	240 DAP				
		cm	Linha		Entrelinha	
			0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10	1,28	1,01	0,38	0,18	
	15	1,01	0,99	0,55	0,17	
	20	1,57	0,76	0,39	0,24	
	25	1,24	0,71	0,40	0,15	
	Média	1,28	0,87	0,43	0,18	
15	10	1,37	0,50	0,26	0,21	
	15	1,13	0,79	0,45	0,29	
	20	1,23	0,75	0,45	0,21	
	25	1,37	0,80	0,41	0,13	
	Média	1,28	0,71	0,39	0,21	
20	10	1,47	0,71	0,26	0,18	
	15	1,19	0,56	0,58	0,25	
	20	1,45	0,67	0,30	0,22	
	25	1,14	0,62	0,46	0,24	
	Média	1,31	0,64	0,40	0,22	
25	10	1,20	0,53	0,39	0,22	
	15	0,65	0,23	0,35	0,23	
	20	1,16	0,36	0,49	0,29	
	25	1,35	0,31	0,30	0,16	
	Média	1,09	0,36	0,38	0,22	
C.V. (%)		24,34	40,46	36,79	27,86	

A mesma metodologia de discussão usada para a época de 120 DAP foi adotada, em virtude do efeito não significativo ( $p > 0,05$ ) entre os fatores.

Na linha de plantio profundidade de 0-10 cm (Tabela 8), na dosagem de 20 g.SS.planta<sup>-1</sup> ocorreu o maior comprimento médio de raízes (133,46 cm). Este valor supera os gerados pelas doses de 10, 15 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup> em 3 %, 3 % e 21 %, respectivamente. Na profundidade de 10-20 cm, a dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> proporcionou o maior comprimento médio de raízes (88,36 cm). A partir desta, os valores de crescimento radicular foram decrescentes.

Na entrelinha de plantio profundidade de 0-10 cm, a dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> mostrou o maior comprimento médio de raízes (43,69 cm). Notou-se uma diferença de 12 %, entre o comprimento de raízes verificado entre a maior e menor dosagem. Na profundidade de 10-20 cm, foi observado que o maior comprimento médio radicular ocorreu na dose de 25 g.SS.planta<sup>-1</sup> (22,89 cm).

Para os resultados médios de densidade radicular que estão transcritos na tabela 9, verifica-se o mesmo comportamento mostrado pelos dados de comprimento médio de raízes.

Notou-se que aos 240 DAP os valores médios de comprimento e densidade de raízes foram superiores na linha de plantio em comparação com a entrelinha.

Os valores transcritos na tabela 8, comparados aos obtidos por Cavalcanti e Resende (2007), quando pesquisaram as cactáceas xiquexique (*Pilocereus gounellei*) com 30,75 cm de raízes e facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) com 32,50 cm, aos 360 DAP, revelaram superioridade para todos os valores médios obtidos na linha de plantio. Quanto a densidade de raízes (Tabela 9), na linha de plantio, os dados apresentaram estreita correlação com os estudos de Barber (1995), que encontrou valores de densidade variando entre 1 a 5 cm.cm<sup>-3</sup> para culturas anuais.

Verificando os valores de comprimento e densidade de raízes, na linha e entrelinha de plantio, constatou-se que estes são menores em profundidade e horizontalmente à medida que se distanciam do caule da planta. No primeiro caso, é sinal do efeito da maior fertilidade natural junto com a fertilização mineral e orgânica da camada superficial do solo. Esta afirmação respalda-se na citação de Gonçalves (1995). Para o segundo caso, Snyman (2005) notou nas suas pesquisas com duas espécies de *Opuntias* na África do Sul, que ambas apresentaram comprimento radicular significativamente ( $p < 0,05$ ) menor, à medida que se afastavam do caule.

Em relação ao efeito das doses de superfosfato simples na distribuição radicular, perceberam-se evidências de que a menor dose (10 g.SS.planta<sup>-1</sup>), seja a proporcionadora de maiores valores de comprimento e densidade de raízes. Para Goedert et al. (1986), são freqüentes respostas acentuadas das culturas às pequenas aplicações de fosfatos solúveis, de



maneira localizada, fato que estimula o desenvolvimento radicular, proporcionando às culturas condições de obterem os demais nutrientes.

Comparando-se os valores de distribuição radicular na linha de plantio e nos primeiros 10 cm de profundidade, para as épocas 120 DAP e 240 DAP, foi observado, com exceção do resultado proporcionado pela dose de 20 g.SS.planta<sup>-1</sup>, uma pequena diferença entre os dados. A época 240 DAP coincidiu com o período seco na região fisiográfica do sertão paraibano, o que contribuiu para a baixa umidade verificada no solo (Tabela 10). Esta constatação reforça as observações de Snyman (2004b), que ao estudar o efeito da umidade do solo no desenvolvimento radicular de duas espécies de palma forrageira na África do Sul, notou uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) no comprimento das raízes com o estresse hídrico. Já Dubrovsky e North (2002), em suas pesquisas sobre raízes em palma forrageira, constataram que geralmente a baixa umidade do solo reduz a sua taxa de crescimento, porém, após o período seco, a retomada do crescimento apical e a ramificação radicular são potencializadas pelo ciclo celular relativamente curto com alta taxa de produção de células.

Na entrelinha de plantio nas duas profundidades, foi constatada uma menor distribuição radicular na época de 240 DAP. Sudzuki-Hills (2001) tenta explicar este fato, atribuindo à falta de umidade no solo, por períodos mais prolongados, a razão da morte de um percentual das raízes, que se renovam, quando a umidade retorna ao solo. Segundo Mello et al. (1998), a grande variação estacional na quantidade de raízes finas exerce importante contribuição na ciclagem de nutrientes e fertilização das camadas do solo com matéria orgânica, ativação dos microorganismos e fauna do solo.

Tabela 10 Valores de umidade do solo (g.g<sup>-1</sup>) nas diferentes épocas de amostragem<sup>1</sup>

Tratamento	Umidade		
	Maio/2007	Setembro/2007	Janeiro/2008
E <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	2,58	0,52	0,70
E <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	5,19	0,52	0,48
E <sub>1</sub> P <sub>3</sub>	2,37	0,64	0,55
E <sub>1</sub> P <sub>4</sub>	5,20	0,64	0,72
E <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	4,15	0,60	0,66
E <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	3,17	0,39	0,66
E <sub>2</sub> P <sub>3</sub>	1,62	0,31	0,35
E <sub>2</sub> P <sub>4</sub>	2,41	0,29	0,59
E <sub>3</sub> P <sub>1</sub>	1,99	0,35	0,47
E <sub>3</sub> P <sub>2</sub>	4,32	0,69	0,71
E <sub>3</sub> P <sub>3</sub>	2,50	0,41	0,49
E <sub>3</sub> P <sub>4</sub>	4,37	0,53	0,50
E <sub>4</sub> P <sub>1</sub>	3,88	0,55	0,70
E <sub>4</sub> P <sub>2</sub>	4,08	0,85	0,64
E <sub>4</sub> P <sub>3</sub>	3,39	0,52	0,60
E <sub>4</sub> P <sub>4</sub>	2,24	0,52	0,46

\*1 Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Escola Agrotécnica Federal de Sousa-PB (2007/2008)

#### 4.7 Distribuição radicular da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 360 dias após o plantio (DAP)

Os dados referentes a comprimento e densidade de raízes da palma forrageira, em função das doses de superfosfato simples, aos 360 DAP estão apresentados nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11 Comprimento radicular ( $\text{cm} \cdot 101,74 \text{ cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS), aos 360 DAP

Doses de SS. g.planta <sup>-1</sup>	Espaçamento entre planta	360 DAP				
		cm	Linha		Entrelinha	
			0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10	204,36	182,35	69,95	24,37	
	15	246,80	126,28	72,05	49,52	
	20	306,02	209,60	79,91	45,06	
	25	229,74	74,93	96,42	18,86	
	Média	246,74	148,29	79,58	34,45	
15	10	226,24	125,63	55,28	29,74	
	15	227,15	98,77	47,68	37,73	
	20	214,05	132,57	75,98	54,76	
	25	237,90	112,66	55,28	29,34	
	Média	226,34	117,41	58,56	37,89	
20	10	270,38	127,59	24,37	31,57	
	15	221,91	84,36	39,04	27,51	
	20	251,78	109,52	66,02	47,68	
	25	183,40	100,87	57,12	50,04	
	Média	231,87	105,59	46,64	39,20	
25	10	232,66	124,19	80,70	50,57	
	15	206,19	77,81	61,83	38,25	
	20	218,77	69,69	53,06	58,69	
	25	248,90	87,51	42,18	36,16	
	Média	226,63	89,80	59,44	45,92	
C.V. (%)		25,97	44,58	58,06	45,38	

Tabela 12 Densidade radicular ( $\text{cm.cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função das doses de superfosfato simples (SS) aos 360 DAP

Doses de SS. g.planta <sup>-1</sup>	Espaçamento entre planta	360 DAP				
		Linha		Entrelinha		
		cm	0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10		2,01	1,79	0,69	0,24
	15		2,43	1,24	0,71	0,48
	20		3,01	2,06	0,78	0,44
	25		2,26	0,74	0,95	0,18
	Média		2,43	1,46	0,78	0,34
15	10		2,23	1,23	0,54	0,29
	15		2,23	0,97	0,47	0,37
	20		2,10	1,30	0,74	0,54
	25		2,34	1,11	0,54	0,29
	Média		2,23	1,15	0,57	0,37
20	10		2,66	1,25	0,24	0,31
	15		2,18	0,83	0,39	0,27
	20		2,47	1,08	0,65	0,47
	25		1,80	0,99	0,56	0,49
	Média		2,28	1,04	0,46	0,39
25	10		2,29	1,22	0,79	0,50
	15		2,03	0,77	0,61	0,38
	20		2,15	0,68	0,52	0,58
	25		2,45	0,86	0,42	0,36
	Média		2,23	0,88	0,58	0,45
C.V. (%)			25,94	44,55	58,22	45,59

O mesmo roteiro de discussão usado nas épocas anteriores foi adotado, em razão de não haver efeitos de interação.

Na avaliação da distribuição radicular na linha, profundidade de 0-10 cm (Tabela 11), na dosagem de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> o comprimento radicular medido no perfil do solo foi de 246,74 cm, valor superior ao apresentado pelas demais doses. Na profundidade de 10-20 cm, a mesma situação foi verificada, com a exceção de que a redução no comprimento de raízes, a partir da dose 15 g.SS.planta<sup>-1</sup> foi inversamente proporcional ao tamanho das doses.

Na entrelinha, profundidade de 0-10 cm e dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup>, observou-se o maior comprimento médio de raízes (79,58 cm). Este resultado superou os valores ocorridos nas dosagens de 15, 20 e 25 g.SS.planta<sup>-1</sup> em 36 %, 71 % e 34 %, respectivamente. Na profundidade de 10-20 cm, verificou-se que o comprimento médio de raízes foi diretamente proporcional ao tamanho das doses de superfosfato simples.

Na avaliação dos dados de densidade média radicular da tabela 12, notou-se o mesmo comportamento verificado para os valores médios de comprimento. Estes resultados, tanto para comprimento médio como para densidade, foram superiores na linha em comparação com a entrelinha.

Os dados da tabela 11, quando comparados aos de Cavalcanti e Resende (2007), com as cactáceas mandacaru (*Cereus jamacaru*) com 33,00 cm de raízes e xiquexique (*Pilocereus gounellei*) com 30,75 cm, aos 360 DAP, mostraram para os valores médios, tanto na linha como na entrelinha, serem superiores. Em relação aos encontrados por Pinto (2002), que pesquisou palma no cariri do estado da Paraíba-Brasil, cuja avaliação radicular foi feita aos 600 DAP e o volume da amostra de 1050 cm<sup>3</sup>, tendo observado um comprimento médio das raízes nos quatro tratamentos e nas profundidades de 0-10 cm (9362,09 cm) e 10-20 cm (4718,08 cm), foram inferiores. Em relação à densidade média (Tabela 12), na linha, profundidade de 0-10 cm, os dados corroboram com as observações de Barber (1995).

Os valores de distribuição radicular na linha e entrelinha de plantio, à medida que se distanciaram do caule em profundidade e horizontalmente, seguiram o mesmo comportamento ocorrido nas épocas anteriores.

Quanto ao efeito das doses de superfosfato simples na distribuição radicular, notou-se que a dose de 10 g.SS.planta<sup>-1</sup> seja a proporcionadora de 75 % dos maiores valores médios de distribuição radicular. Este resultado sinaliza para uma maior viabilidade de uso desta cultura, nas áreas onde os solos apresentam restrições quanto à disponibilidade em fósforo e corrobora com Anghinoni e Meurer (1999) de que no geral, à medida que se aumenta a disponibilidade do fósforo, ocorre um menor crescimento radicular em razão da incorporação preferencial dos fotoassimilados nos órgãos aéreos.

Fazendo-se uma comparação dos resultados de distribuição radicular da linha, da época de 360 DAP com os verificados nas épocas de 120 DAP e 240 DAP, observou-se de maneira geral um incremento no comprimento e na densidade média de raízes, com o aumento na idade do palmar. É provável que, uma precipitação de 91 mm ocorrida no mês anterior e uma outra de 27,4 mm, no mês da coleta de raízes, tenha contribuído para potencializar o crescimento radicular da cultura. De acordo com Sudzuki-Hills (2001), a palma forrageira é rápida na formação de raízes absorventes, ocorrendo poucas horas após o solo ser molhado. São as chamadas raízes de chuvas.

Para a entrelinha, nas duas profundidades, constatou-se que a distribuição radicular não foi muito diferente numericamente da época de 120 DAP. Esta observação sugere que as precipitações ocorridas não foram suficientes para incrementar o crescimento radicular na entrelinha de plantio. Snyman (2005), afirma que o comprimento radicular é severamente afetado à medida que se afasta do caule da planta.

#### 4.8 Distribuição radicular da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 120 dias após o plantio (DAP)

Os resultados de comprimento e densidade radicular da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas aos 120 DAP, estão apresentados nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13 Comprimento radicular ( $\text{cm} \cdot 101,74 \text{ cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 120 DAP

Espaçamento entre planta cm	Doses de SS- g.planta <sup>-1</sup>	120 DAP			
		Linha		Entrelinha	
	-	0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10	129,43	33,54	71,00	45,20
	15	104,41	63,54	57,64	25,94
	20	106,24	42,18	60,65	31,44
	25	74,02	47,29	54,63	52,40
	Média	103,52	46,64	60,98	38,74
15	10	132,83	63,40	62,36	30,39
	15	137,81	46,37	57,51	44,67
	20	98,25	50,96	77,29	31,96
	25	132,83	49,52	38,65	44,15
	Média	125,43	52,56	58,95	37,79
20	10	121,18	72,44	95,11	41,53
	15	97,86	47,82	48,99	28,43
	20	87,64	26,59	85,02	48,08
	25	118,82	31,70	52,27	36,42
	Média	106,37	44,64	70,35	38,61
25	10	124,58	51,61	84,10	42,84
	15	130,35	39,17	70,61	44,80
	20	130,35	39,04	53,06	30,39
	25	93,01	27,12	46,51	34,85
	Média	119,57	39,23	63,57	38,22
C.V. (%)		24,51	47,52	48,26	41,85

Tabela 14 Densidade radicular ( $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha do plantio, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 120 DAP

Espaçamento entre planta cm	Doses de SS- g.planta <sup>-1</sup>	120 DAP			
		Linha		Entrelinha	
	-	0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10	1,27	0,33	0,70	0,44
	15	1,03	0,62	0,57	0,25
	20	1,04	0,41	0,59	0,31
	25	0,72	0,46	0,54	0,51
	Média	1,02	0,46	0,60	0,38
15	10	1,30	0,62	0,62	0,30
	15	1,35	0,45	0,57	0,44
	20	0,96	0,50	0,76	0,31
	25	1,31	0,49	0,38	0,43
	Média	1,23	0,52	0,58	0,37
20	10	1,19	0,71	0,94	0,41
	15	0,96	0,47	0,48	0,28
	20	0,86	0,26	0,84	0,47
	25	1,17	0,31	0,51	0,36
	Média	1,05	0,44	0,69	0,38
25	10	1,23	0,52	0,83	0,42
	15	1,28	0,38	0,69	0,44
	20	1,28	0,38	0,52	0,30
	25	0,91	0,26	0,46	0,34
	Média	1,18	0,39	0,63	0,38
C.V. (%)		24,54	47,56	48,21	42,13

Notou-se que, os resultados médios mesmo oriundos de grandezas diferentes, apresentaram na linha e entrelinha de plantio dentro de cada profundidade e em função dos espaçamentos entre plantas o mesmo comportamento, razão pela qual, foram discutidos simultaneamente. Fez-se uma análise comparativa dos dados, com destaque para os valores médios, em virtude de a análise estatística ter revelado que o efeito da interação entre os fatores não foi significativo ( $p > 0,05$ ).

Na linha de plantio, na profundidade de 0-10 cm (Tabela 13), observou-se que no espaçamento de 15 cm entre plantas ocorreu o maior valor de comprimento médio de raízes (125,43 cm). Este resultado superou o verificado nos espaçamentos de 10, 20 e 25 cm entre plantas, em 21 %, 18 % e 5 %, respectivamente. Na profundidade de 10-20 cm, o maior valor de comprimento médio de raízes (52,56 cm) foi observado no espaçamento de 15 cm entre plantas. A superioridade deste resultado em relação aos encontrados nos espaçamentos 10, 20 e 25 cm entre plantas, alcança as cifras de 13 %, 18 % e 33 %, respectivamente.

Para a entrelinha de plantio, na profundidade de 0-10 cm, o maior valor de comprimento médio de raízes (70,35 cm) foi registrado no espaçamento de 20 cm entre plantas. Este comprimento radicular é maior do que os alcançados nos espaçamentos 10, 15 e 25 entre plantas em 15 %, 19 % e 11 %, respectivamente. Na profundidade de 10-20 cm, verificou-se a ocorrência de valores médio de comprimento radicular praticamente iguais nos quatro espaçamentos entre plantas, com uma leve predominância do resultado ocorrido no espaçamento de 10 cm entre plantas.

Os valores médios de densidade do sistema radicular da palma forrageira, que estão escritos na tabela 14, mostraram a mesma propensão verificada na tabela 13. No entanto, aos 120 DAP os valores médios de comprimento e densidade de raízes na linha de plantio superaram os registrados na entrelinha.

O comprimento radicular na linha de plantio (Tabela 13) se confrontado com os de Cavalcanti e Resende (2007), que avaliaram o comprimento de raízes do mandacaru (*Cereus jamacaru*) com 33,00 cm e facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) com 32,50 cm, aos 360 DAP, verificou-se que o crescimento radicular médio da palma forrageira, tanto na linha como na entrelinha de plantio, foi superior. Para a densidade radicular na linha de plantio e profundidade de 0-10 cm (Tabela 14), notou-se que os valores médios estão de acordo com os estudos de Barber (1995).

Os resultados da distribuição de raízes na linha e entrelinha de plantio mostraram diminuição com a profundidade e a distância do caule da planta. Esse maior crescimento radicular na camada superior do solo deve ser reflexo da maior fertilidade natural desta,

somado à adubação mineral e orgânica realizada. Segundo Santos et al. (1994), a superficialidade das raízes desta planta pode ser atribuída além da maior concentração de nutrientes na superfície do solo, a uma característica genética não só da palma, mas das cactáceas em geral. Gonçalves (1995) faz menção a dados da literatura confirmando um maior desenvolvimento radicular nas primeiras camadas do solo.

A menor distribuição radicular à medida que se distancia do caule, corrobora as observações de Snyman (2005), que constatou significância ( $p < 0,05$ ) na diminuição do comprimento de raízes, quando se distancia do caule da planta.

Quanto ao efeito dos espaçamentos entre plantas na distribuição radicular da palma forrageira, verificou-se a tendência dos menores espaçamentos produzirem os maiores valores médios de comprimento e densidade de raízes.

Para Souto et al. (1992), quando pesquisavam a distribuição radicular da aveia preta, concluíram que a densidade de plantas não influenciou significativamente no seu desenvolvimento radicular. Enquanto isso, Pinto (2002), ao estudar o comportamento das raízes da palma forrageira nas condições ecológicas do cariri ocidental da Paraíba-Brasil, concluiu que o maior espaçamento de plantio utilizado resultou em um maior desenvolvimento radicular.

Para Dubeux Júnior et al. (2000) a utilização da tecnologia do plantio adensado na cultura da palma forrageira, através da maior absorção da luz solar, menor ação das plantas daninhas e alta eficiência fotossintética são fatores que provavelmente favoreçam o aumento da produtividade desta cultura. Já Medeiros et al. (1997), descrevem que o uso de espaçamentos adensados tem sido mostrado na literatura como um meio eficaz no aumento da produtividade das *Opuntias*.

#### **4.9 Distribuição radicular da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 240 dias após o plantio (DAP)**

Nas tabelas 15 e 16, estão os resultados de comprimento e densidade de raízes da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 240 DAP.

Tabela 15 Comprimento radicular ( $\text{cm} \cdot 101,74 \text{ cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha de plantio, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 240 DAP

Espaçamento entre planta cm	Doses de SS. g.planta <sup>-1</sup>	240 DAP			
		Linha		Entrelinha	
		-	0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm
10	10	130,74	102,57	38,78	18,47
	15	138,99	50,70	26,33	20,96
	20	149,47	72,18	26,59	18,60
	25	122,09	54,63	39,69	22,53
	Média	135,32	70,02	32,85	20,14
15	10	103,36	100,74	55,54	17,03
	15	115,15	80,30	45,33	29,08
	20	120,91	57,38	58,95	25,55
	25	65,76	23,97	35,89	22,93
	Média	101,30	65,60	48,93	23,65
20	10	159,43	77,29	39,56	24,24
	15	125,11	76,77	45,46	21,62
	20	147,51	67,86	30,39	22,27
	25	118,42	36,94	49,91	29,87
	Média	137,62	64,71	41,33	24,50
25	10	126,28	72,84	40,87	15,46
	15	139,52	80,96	42,18	13,23
	20	115,94	63,40	46,37	24,24
	25	137,42	31,44	30,39	16,24
	Média	129,79	62,16	39,96	17,29
C.V. (%)		24,29	40,42	36,68	27,53

Tabela 16 Densidade radicular ( $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha do plantio, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 240 DAP

Espaçamento entre planta cm	Doses de SS. g.planta <sup>-1</sup>	240 DAP			
		Linha		Entrelinha	
		-	0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm
10	10	1,28	1,01	0,38	0,18
	15	1,37	0,50	0,26	0,21
	20	1,47	0,71	0,26	0,18
	25	1,20	0,53	0,39	0,22
	Média	1,33	0,69	0,32	0,20
15	10	1,01	0,99	0,55	0,17
	15	1,13	0,79	0,45	0,29
	20	1,19	0,56	0,58	0,25
	25	0,65	0,23	0,35	0,23
	Média	1,00	0,64	0,48	0,23
20	10	1,57	0,76	0,39	0,24
	15	1,23	0,75	0,45	0,21
	20	1,45	0,67	0,30	0,22
	25	1,16	0,36	0,49	0,29
	Média	1,35	0,64	0,41	0,24
25	10	1,24	0,71	0,40	0,15
	15	1,37	0,80	0,41	0,13
	20	1,14	0,62	0,46	0,24
	25	1,35	0,31	0,30	0,16
	Média	1,28	0,61	0,39	0,17
C.V. (%)		24,34	40,46	36,76	27,86



Adotar-se-á o mesmo procedimento de discussão utilizado na época de 120 DAP, em razão da ausência de interação significativa ( $p > 0,05$ ) entre os fatores estudados.

Na linha de plantio, na profundidade de 0-10 cm (Tabela 15), houve o maior comprimento médio de raízes (137,62 cm) no espaçamento de 20 cm entre plantas. Este valor é superior aos observados nos espaçamentos de 10, 15 e 25 cm entre plantas, em 2 %, 36 % e 6 %, respectivamente. Na profundidade de 10-20 cm, o maior comprimento médio de raízes (70,02 cm) aconteceu no espaçamento de 10 cm entre plantas. A partir do espaçamento de 15 cm entre plantas ocorreu uma redução no comprimento médio radicular.

Na entrelinha de plantio, na profundidade de 0-10 cm, o espaçamento de 15 cm entre plantas gerou o maior comprimento médio de raízes (48,93 cm). Este resultado comparado aos observados nos espaçamentos de 10, 20 e 25 cm entre plantas, supera-os em 49 %, 18 % e 22 %, respectivamente. Na profundidade de 10-20 cm, o espaçamento de 20 cm entre plantas revelou o maior valor de comprimento médio de raízes (24,50 cm). Este resultado é maior do que os observados nos espaçamentos 10, 15 e 25 cm entre plantas, em 22 %, 4 % e 42 %, respectivamente.

Os dados médios de densidade de raízes da palma forrageira que são mostrados na tabela 16 revelaram comportamento equivalente aos que estão na tabela 15.

Estes dados de comprimento médio de raízes, observados na linha de plantio, são superiores aos de Cavalcanti e Resende (2007), para o xiquexique (*Pilocereus gounellei*) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), aos 360 DAP. Para a densidade de raízes na linha de plantio, os valores médios coletados estão em consonância com as pesquisas de Barber (1995).

Os resultados da distribuição de raízes na linha e entrelinha de plantio mostraram o mesmo comportamento verificado na época de 120 DAP.

Comparando-se os valores da distribuição radicular na entrelinha entre as épocas de 120 DAP e 240 DAP, verificou-se a superioridade dos dados coletados na primeira época. A época de 240 DAP foi marcada pela baixa umidade do solo, fato que, provavelmente, tenha contribuído para este reduzido crescimento radicular. Segundo Sudzuki-Hills (2001), a falta de umidade no solo por períodos mais prolongados, provoca a morte de um percentual das raízes, que se renovam com o retorno da umidade ao solo. Segundo Mello et al. (1998), a grande variação estacional na quantidade de raízes finas exerce importante contribuição na ciclagem de nutrientes e fertilização das camadas do solo com matéria orgânica, ativação dos microorganismos e fauna do solo. Enquanto, North e Nobel (1996), constataram que a baixa umidade do solo provoca a redução da condutividade hidráulica das raízes da palma

forrageira, que ocorre devido à menor condutividade radial provocada pelo aumento da suberização da epiderme e redução da condutividade axial.

#### 4.10 Distribuição radicular da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 360 dias após o plantio (DAP)

Os resultados de comprimento e densidade radicular da palma forrageira, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 360 DAP estão apresentados nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17 Comprimento radicular ( $\text{cm} \cdot 101,74 \text{ cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha do plantio, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 360 DAP

Espaçamento entre planta cm	Doses de SS. g.planta <sup>-1</sup>	360 DAP				
		Linha		Entrelinha		
		-	0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10		204,36	182,35	69,95	24,37
	15		226,24	125,63	55,28	29,74
	20		270,38	127,59	24,37	31,57
	25		232,66	124,19	80,70	50,57
	Média		233,41	139,94	57,57	34,06
15	10		246,80	126,28	72,05	49,52
	15		227,15	98,77	47,68	37,73
	20		221,91	84,36	39,04	27,51
	25		206,19	77,81	61,83	38,25
	Média		225,52	96,81	55,15	38,25
20	10		306,02	209,60	79,91	45,06
	15		214,05	132,57	75,98	54,76
	20		251,78	109,52	66,02	47,68
	25		218,77	69,69	53,06	58,69
	Média		247,66	130,35	68,74	51,55
25	10		229,77	74,93	96,42	18,86
	15		237,90	112,66	55,28	29,34
	20		183,40	100,87	57,12	50,04
	25		248,90	87,51	42,18	36,16
	Média		224,99	93,99	62,75	33,60
C.V. (%)			25,97	44,58	58,06	45,38

Tabela 18 Densidade radicular ( $\text{cm.cm}^{-3}$ ) da palma forrageira na linha e entrelinha do plantio, em função dos espaçamentos entre plantas, aos 360 DAP

Espaçamento entre planta cm	Doses de SS. g.planta <sup>-1</sup>	360 DAP				
		Linha		Entrelinha		
		-	0 – 10 cm	10 – 20cm	0 – 10cm	10 – 20cm
10	10		2,01	1,79	0,69	0,24
	15		2,23	1,23	0,54	0,29
	20		2,66	1,25	0,24	0,31
	25		2,29	1,22	0,79	0,50
	Média		2,30	1,38	0,57	0,34
15	10		2,43	1,24	0,71	0,48
	15		2,23	0,97	0,47	0,37
	20		2,18	0,83	0,39	0,27
	25		2,03	0,77	0,61	0,38
	Média		2,22	0,95	0,54	0,38
20	10		3,01	2,06	0,78	0,44
	15		2,10	1,30	0,74	0,54
	20		2,47	1,08	0,65	0,47
	25		2,15	0,68	0,52	0,58
	Média		2,43	1,28	0,67	0,51
25	10		2,26	0,74	0,95	0,18
	15		2,34	1,11	0,54	0,29
	20		1,80	0,99	0,56	0,49
	25		2,45	0,86	0,42	0,36
	Média		2,21	0,93	0,62	0,33
C.V. (%)			25,94	44,53	58,22	45,59

Não houve interação significativa ( $P>0,05$ ) entre os fatores, o que definiu um padrão de discussão semelhante à verificada na época de 240 DAP.

Na linha de plantio e profundidade de 0-10 cm (Tabela 17), ocorreu o maior comprimento médio de raízes (247,66 cm) no espaçamento de 20 cm entre plantas. Este dado é superior ao verificado nos espaçamentos de 10, 15 e 25 cm entre plantas, em 6 %, 10 % e 10 %, respectivamente. Na profundidade de 10-20 cm, este maior comprimento médio de raízes é de 139,94 cm no espaçamento de 10 cm entre plantas. Nos espaçamentos de 15, 20 e 25 cm o maior valor de comprimento médio radicular, superou-os em 44 %, 8 % e 49 %, respectivamente.

Na entrelinha de plantio e profundidade de 0-10 cm, o espaçamento de 20 cm entre plantas revelou o maior comprimento médio de raízes (68,74 cm). Este valor superou os resultados observados nos espaçamentos de 10, 15 e 25 cm entre plantas, em 21 %, 25 % e 10 %, respectivamente. Na profundidade de 10-20 cm, observou-se o maior comprimento médio radicular (51,55 cm) no espaçamento de 20 cm. Este dado foi maior aos ocorridos nos espaçamentos de 10, 15 e 25 cm, em 53 %, 37,5 % e 53 %, respectivamente.

Para os valores médios de densidade radicular, que estão apresentados na tabela 18, verificou-se comportamento idêntico aos dados de comprimento médio de raízes.

Os dados de comprimento médio radicular da palma forrageira, coletados aos 360 DAP, foram superiores aos obtidos por Cavalcanti e Resende (2007) com outras espécies da família das cactáceas, como *Cereus jamacaru* (33,00 cm) e *Pilosocereus pachycladus* (32,50 cm), também aos 360 DAP. Comparando-os, com os obtidos por Pinto (2002), que pesquisou palma forrageira no cariri ocidental do estado da Paraíba-Brasil, cuja avaliação radicular foi feita aos 600 DAP e o volume da amostra de 1050 cm<sup>3</sup>, tendo observado um comprimento médio das raízes nos quatro tratamentos e nas profundidades de 0-10 cm (9362,09 cm) e 10-20 cm (4718,08 cm), foram inferiores. Para densidade de raízes, na linha de plantio, verificou-se que os valores estão de acordo com as pesquisas de Barber (1995).

Quanto ao efeito dos espaçamentos entre plantas na distribuição radicular da palma forrageira, verificou-se que o espaçamento de 20 cm se destacou ao produzir 75 % dos maiores valores médios de comprimento e densidade de raízes.

Comparando-se os valores de distribuição radicular, na linha de plantio, entre as três épocas avaliadas, notou-se que os valores da época de 360 DAP foram superiores. As razões, prováveis para esta constatação são a idade do palmal e a influência da umidade do solo, visto que no mês anterior e no mês da coleta das amostras a área recebeu 91 e 27,4 mm de chuvas, respectivamente. Na entrelinha, os valores de comprimento e densidade de raízes foram superiores à época de 240 DAP, mas praticamente iguais à época 120 DAP. A ausência de pluviosidade, praticamente, por um período de seis meses contribui muito para prejudicar o desenvolvimento radicular do palmal. Esta constatação reforça as observações do pesquisador Snyman (2004), que ao estudar o efeito da umidade do solo no desenvolvimento radicular de duas espécies de palma forrageira na África do Sul, notou uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) no comprimento das raízes com o estresse hídrico. Já Dubrovsky e North (2002), em suas pesquisas sobre raízes em palma forrageira, constataram que geralmente a baixa umidade do solo reduz a taxa de crescimento destas. Enquanto Sudzuki-Hills (2001) creditou à falta de umidade no solo por períodos mais prolongados, a razão da morte de um percentual das raízes, que se renovam com o retorno desta ao solo.

## 5 CONCLUSÕES

A maior concentração de raízes da palma forrageira, tanto na linha como na entrelinha de plantio, ocorreu na camada superficial do solo.

Os espaçamentos e as doses de superfosfato simples não interferiram na distribuição radicular da palma forrageira, na linha e entrelinha de plantio, respectivamente.

A interação entre espaçamentos e doses de superfosfato simples não influenciou a distribuição radicular da palma forrageira.

A distribuição e a variação estacional da quantidade de raízes da palma forrageira apresentaram-se como características estreitamente relacionadas com a capacidade de adaptação ao estresse hídrico.

## 6 REFERÊNCIAS

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. **Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 38-44, 2007.

ANGHINONI, I.; MEURER, E.J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: FERNANDES et al., (eds). **Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: Metodologias e estudo de casos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 57-87.

ARAÚJO FILHO, J.T. de. **Efeitos da adubação fosfatada e potássica no crescimento da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.)- Clone IPA-20**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2000, 78f. (Dissertação de Mestrado).

ARAÚJO, G.G.L. de; HOLANDA JÚNIOR, E.V.; DANTAS, D.B.; MEDINA, F.T. As forrageiras nativas como base da sustentabilidade da pecuária do semi-árido. In: III Congresso Nordeste de Produção Animal, IX Simpósio Nordeste de Alimentação de Ruminantes, IV Simpósio Paraibano de Zootecnia, 2004, Campina Grande-PB. **Anais...** CD-ROM, Campina Grande, 2004.

ARAÚJO, L. de F.; OLIVEIRA, L. de S.C.; PERAZZO NETO, A.; ALSINA, O.L.S. de; SILVA, F.L.H. da. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: Relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 379-384, 2005.

ARAÚJO, L. de F.; BRITO, E.A. de; BARREIRO NETO, M.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. de; SANTOS, E.S. dos. Bioconversão da palma forrageira- Alternativa alimentar para pequenos ruminantes. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 59-61, 2007.

ASSISTAT, Versão 7.5, beta 2008. –<http://www.assistat.com.br>. Consultado em 15 de março de 2008.

BANCO DO NORDESTE. **Agenda do produtor rural**. Fortaleza-CE, 2005. 263p.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability - a mechanistic approach**. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.

BECERRIL, G.A.; VALDIVIA, C.B.P. Alteraciones fisiológicas provocadas por sequia en nopal (*Opuntia ficus-indica*). **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 29, n. 3, p. 231-237, 2006.

BERRY, W.L.; NOBEL, P.S. Influence of soil and mineral stresses on cacti. **Journal of Plant Nutrition**, v. 5, n. 8, p. 679-696, 1985.

BISPO, S.V. **Substituição do feno de capim elefante por palma forrageira em dietas para ovinos**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2007, 56f. (Dissertação Mestrado).

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. New York, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1979. 190p.

BONI, G.; COSTA, C.A.G.; GONDIM, R.S.; MONTENEGRO, A.A.T.; OLIVEIRA, V.H. de. Distribuição do sistema radicular do cajueiro-anão precoce (clone CCP-09) em cultivo irrigado e sequeiro, Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 1-6, 2008.

CATARINA, F.M.G.; SCHLINDWEIN, J.A.; LEITE, H.M.F.; MIRANDA, I.A.A.M.; ALVES, L.E.V.; FEITOSA, R.T.; BALBINO, T.G.M.; SOLINO, J.S.; BRUSCKE, E.L. Resposta do milho aos diferentes níveis de adubação fosfatada em solo no município de Rolim de Moura-RO. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**, Gramado-RS, 2007.

CAVALCANTE, N. de B.; RESENDE, G.M. de. Consumo do xiquexique (*Pilocereus gounellei* (A. weber ex K. Schum.) Bly. ex Rowl) por caprinos no semi-árido da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 1, p. 22-27, 2007.

CAVALCANTE, M.C. de A. **Comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) e palma orelha-de-elefante (*Opuntia sp.*)**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2007, 40f. (Dissertação Mestrado).

CHIACCHIO, F.P.B.; MESQUITA, A.S.; SANTOS, J.R. dos. Palma forrageira: uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o semi-árido baiano. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, p. 39-49, 2006.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, F. das C. Avaliação de métodos de obtenção e de análise de imagens digitais de raízes. **Magistra**, v. 18, n. 3, p. 146-151, 2006.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 3, p. 365-371, 1994.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; SOUZA, L.F. da S.; FILHO SOUZA, L.F. da S.; QUEIROZ, D.C.; DIAS, A.T. Efeito do fósforo sobre o acúmulo de massa seca nas raízes e xilopódios do umbuzeiro e suas relações com a massa seca total da planta. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**, Gramado-RS, 2007.

CURTARELLI, L.M.N.; CARVALHO, L.L.T. de; MORO, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Adubação fosfatada e crescimento radicular de híbridos de mamona. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**, Gramado-RS, 2007.

DONEGA, M.A.; VOLK, L.B. da S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T. de O. Avaliação do uso de casca de arroz carbonizada no desenvolvimento do sistema radicular do milho. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**, Gramado-RS, 2007.

DOUGHERTY, R.L.; LAUENROTH, W.K.; SINGH, J.S. Response of a grassland cactus to frequency and size of rainfall evts in a North American shortgrass steppe. **Journal of Ecology**, v. 84, p. 177-183, 1996.

DRENNAN, P.M.; NOBEL, P.S. Root growth dependence on soil temperature for *Opuntia ficus-indica*: influences of air temperature and a doubled CO<sub>2</sub> concentration. **Functional Ecology**, v. 12, p. 959-964, 1998.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F.; SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; MESQUITA FILHO, I.F.; MATOS, C.W.; CABRAL, M.T. Índice de área de cladódio de palma forrageira cv. IPA-20 submetida a diferentes espaçamentos e adubações. In: Proceedings of the Northeastern Ruminant feeding Symposium. Teresina-PI, 2000. p. 101-103.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SANTOS, D.C. dos; SANTOS, M.V.F. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; MELO, J.N. de; OLIVEIRA JÚNIOR, I.S. de. Desempenho da palma forrageira CV. IPA-20 (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) submetida a diferentes espaçamentos e adubações, no agreste e sertão de Pernambuco. In: 34<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002, Recife-PE. **Anais... CD-ROM**, Recife-PE, 2002.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F. dos. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: MENEZES, R.S.C.; et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p. 105-127.

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 north- east Brasil. **Journal of Arid Enviroments**, v. 67, n. 3, p. 357-372, 2006.

DUBROVSKY, J.G.; NORTH, G.B. Root structure and function. In; NOBEL, P.S. **Cacti: Biology and Uses**. Berkeley of California, 2002. p. 41-56.

ELOI, W.M.; VIANA, T.V. de A.; SOUSA, V.F. de; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; AZEVEDO, B.M. de. Efeitos da fertirrigação de N e K<sub>2</sub>O na distribuição do sistema radicular da gravioleira. **Caatinga**, v. 20, n. 2, p. 50-58, 2007.



ENCIDE-OLIBONE, A.P., OLIBONE, D., ROSOLEM, C.A. Atividade radicular da soja: Definição de um método. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 899-903, 2008.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I. comparação de metodologias. **Scientia Agrícola**, v. 51, n. 3, p. 513-518, 1994.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A. de C.; BACCHI, O.O.S. Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4, p. 1091-1100, 1999.

FARIAS, I.; FERNANDES, A. de P.M.; LIMA, M. de A.; SANTOS, D.C. dos; FRANÇA, M.P. **Cultivo da palma forrageira em Pernambuco**. Recife: IPA-PE, 1984, 5p. (Instruções Técnicas, 21).

FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, D.C. dos; FERNANDES, A. de P.M.; TAVARES FILHO, J.J.; SANTOS, M.V.F. de. Efeito da frequência e intensidade de cortes em diferentes espaçamentos na cultura da palma forrageira em consórcio com sorgo granífero. 1996. Disponível em [http://www. Ipa. br/publicações](http://www.Ipa.br/publicações). Consultado em 27 de março de 2007.

FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, D.C. dos; TAVARES FILHO, J.J.; SANTOS, M.V. F. dos; FERNANDES, A. de P.M.; SANTOS, V.F. de. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira, em consórcio com sorgo granífero, no agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n. 2, p. 341-347, 2000.

FARIAS, I.; SANTOS, D.C. dos; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: MENEZES, R.S.C.; et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p. 81-103.

FELKER, P. Produção e utilização de forragem. In: **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001. p. 147-157.

FELKER, P.; INGLESE, P. Short-Term and Long-Term research needs for *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Utilization in arid areas. 2003. Disponível em <http://www.jpacd.org>. Consultado em 07 de dezembro de 2007.

FERREIRA, M. de A. Utilização da palma forrageira na alimentação de vacas leiteiras. In: 43ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006, João Pessoa-PB. **Anais...** CD-ROM, João Pessoa-PB, 2006.

FROTA, H.M.; CARNEIRO, M.S. de S.; ZÁRATE, R.M.L.; CAMPOS, F. de A.P.; PEIXOTO, M.J.A. Efeitos do BAP e do AIA na indução e no crescimento in vitro de brotos de dez clones de palma forrageira. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 35, n. especial, p. 279-283, 2004.

GALINDO, I.C.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MENEZES, R.S.C. Uso da palma na conservação dos solos. In: MENEZES, R.S.C.; et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p. 163-176.

GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L. **Physiology of crop plants**. Iowa State University Press: AMES, 1985. 327p.

GIACOMINI, A.A.; MATTOS, W.T.de; MATOS, H.B.de; WERNER, J.C.; CUNHA, E.A.da; CARVALHO, D.D.de. Crescimento de raízes dos capins aruana e tanzânia submetidos a duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v, 34, n, 4, p. 1109-1120, 2005.

GIBBENS, R.P.; LENZ, J.M. Root systems of some Chihuahuan Desert plants. **Journal of Arid Environments**, v. 49, n. 2, p. 221-263, 2001.

GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G. de; LOBATO, E. Fósforo. **In: GOEDERT, W.J. Solos de cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1986. p.129-166.

GONÇALVES, J.L.M. Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas: I – Distribuição de raízes nas camadas do solo. In: 21<sup>a</sup> Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1995, Viçosa-MG. **Anais... Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 876-878, 1995.

GRISE, M.M.; PELISSARI, A.; FERNANDES, A.C.; VALERIO, S. Desenvolvimento radicular em pastagem de aveia preta (*Avena strigosa* schreb) mais azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) em resposta ao pastejo. In: 41<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004, Campo Grande-MS. **Anais... CD-ROM, Campo Grande-MS, 2004**.

GUEVARA, J.C.; GONNET, J.M.; ESTEVEZ, O.R. Frost hardiness and production of Opuntia forage clones in the Mendoza plain, Argentina. **Journal of Arid Environments**, v. 46, n. 2, p. 199-207, 2000.

GUERRA, M.G.; MAIA, M. de O.; MEDEIROS, H.R. de; LIMA, G.F. da C.; AGUIAR, E.M. de; GARCIA, L.R.U.C. Produção de novos genótipos de palma forrageira no Estado do Rio Grande do Norte. In: 42<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005, Goiânia-GO. **Anais... CD-ROM, Goiânia-GO, 2005**.

GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.C.A.; MARIA, I.C. de; TAVARES FILHO, J.; BICUDO, S.J.; CRESTANA, S. Três metodologias de avaliação de raízes: descrição, limitações e vantagens. In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, São Carlos-SP, **Anais...**, Embrapa CNPDIA, 1996, p.295-304.

GUIMARÃES, M.F.; BALBINI, L.C.; MEDINA, C.C.; RIBEIRO, A.M.A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. A metodologia do perfil cultural e o enraizamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1997, Rio de Janeiro-RJ. **Anais...**, Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD ROOM).

HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water- use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Enviroments**, v. 36, n. 1, p. 133-148, 1997.

HERLING, V.R.; RODRIGUES, L.R.A; LUZ, P.H.C. Manejo do pastejo. In: 18ª Simpósio Sobre Manejo da Pastagem: planejamento e sistemas de produção em pastagens, 2001, Piracicaba-SP. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2001. p. 157-192.

HOFFMANN, W. Etnobotânica. In: **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001. p. 12-19..

HOUÉROU, H.N. Le. The role of cacti (*Opuntia spp.*) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. **Journal of Arid Environments**, v. 33, n. 2, p. 135-159, 1996.

INGLESE, P.; BARBERA, G.; MANTIA, T. La. Research strategies for the improvement of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality and production. **Journal of Arid Environments**, v. 29, n. 4, p. 455-468, 1995.

INGLESE, P. Plantação e manejo do pomar. In: **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001. p. 79-93.

IVO, W. de M. Monólito com placas de pregos. In: FERNANDES, M.F et al. (eds). **Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: Metodologias e estudos de casos**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.269-274.

JORGE, L.A.C. Descrição detalhada do método de trincheira com produção de imagens para uso do SIARCS. In: FERNANDES, M.F et al. (eds). **Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: Metodologias e estudos de casos**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 255-268.

KIESLING, R. Cactáceas de la Argentina promisorias agronomicamente. 2001. Disponível em [http://www. Jpacd.org](http://www.Jpacd.org). Consultado em 09 de dezembro de 2007.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo em solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 3, p. 403-408, 1995.

KUCKE, M.; SCHMID, H.; SPIESS, A. A comparison of four methods for measuring roots in field crops in three contrasting soils. **Plant Soil**, v. 172, p. 63-71, 1995.

LIMA, C.D.S.; GOMES, H. de S.; DETONI, C.E. Adição de uréia e da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no enriquecimento protéico da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* L) CV. Miúda. **Revista Magistra**, v.16, n. 1, p. 01-08, 2004.

LOPES, J. da S.; JAEGER, S.M.P.L.; TAVARES, J.T. de Q.; SILVA, A.M. da; LEDO, C.A.S. Composição bromatológica da palma forrageira (*Nopalea cocchenilifera* Salm Dyck) amonizada. **Revista Magistra**, v. 17, n. 3, p. 107-113, 2005.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 5ª edição, 1989. 292p.

MEDEIROS, G.R.; FARIAS, J.J; RAMOS, J.L.F.; SILVA, D.S. Efeito do espaçamento e da forma de plantio sobre a produção da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill) no semi-árido. In: Proceedings of the XXXIV Annual Meeting of the Brazilian of Animal Science, SBZ, Juiz de Fora-MG, 1997. p. 231-233.

MEDINA, C. de C.; NEVES, C.S.V.J. Método da trincheira com contagem manual das raízes. In: FERNANDES, M.F et al. (eds). **Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: Metodologias e estudos de casos**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 275-282.

MELLO, S.L. de M.; GONÇALVES, J.L. de M.; OLIVEIRA, L.E.G. de. Características do sistema radicular em povoamentos de eucalyptus propagados por sementes e estacas. **Scientia Florestalis**, v. , n. 54, p. 17-28, 1998.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SOUZA, F.J. de. Produtividade de palma em propriedades rurais. In: MENEZES, R.S.C.; et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p.129-139.

MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em latossolo roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.15, n. 3, p. 369-374, 1991.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL-MIN. **Nova delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Brasília, DF, 32p, 2005.

MOHAMED-YASSEEN, Y.; BARRINGER, S.A.; SPLITTSTOESSER, W.E. A note on the uses of *Opuntia spp.* in Central/North America. **Journal of Arid Environments**, v. 32, n. 3, p. 347-353, 1996.

MONTENEGRO, A.A.T.; GONDIM, R.S.; BEZERRA, M.A.; COSTA, C.A.G.; SABINO, K.V. Distribuição do sistema radicular da bananeira na microrregião do Baixo Jaguaribe, Ceará. In: XVIII Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2004, Florianópolis: SBF, 2004.

MURILLO-AMADOR, B.; GARCIA-HERNÁNDEZ, J.L.; ÁVILA-SERRANO, N.Y.; ORONA-CASTILLO, I.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; NIETO-GARIBAY, A.; RUIZ-ESPINOZA, F.H.; ZAMORA-SALGADO, S. A multivariate approach to determine the effect of doses and sources of N, P and K in *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. 2005. Disponível em [http://www. Jpacd.org](http://www.Jpacd.org). Consultado em 10 de dezembro de 2007.

NOBEL, P.S. Biologia ambiental..In: **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001. p. 36-48.

NOBEL, P.S. Recent ecophysiological findings for *Opuntia ficus-indica*. 1997. Disponível em <http://www.jpacd.org>. Consultado em 09 de dezembro de 2007.

NOBEL, P.S.; ZUTTA, B.R. Temperature tolerances for stems and roots of two cultivated cacti, *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia robusta*: Acclimation, light and drought. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 5, p. 633-642, 2008.

NORTH, G.B.; NOBEL, P.S. Radial hydraulic conductivity of individual root tissues of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as soil moisture varies. **Annals of Botany**, v. 77, p. 133-142, 1996.

OLIVEIRA, V.S. de. **Substituição total do milho e parcial do feno de capim Tifton por palma forrageira em dietas para vacas da raça holandesa em lactação**. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2006, 89f. (Tese de Doutorado).

OLIVEIRA, F.T. de; SOUTO, J.S.; SOUTO, P.C.; GOMES, M.M.S.; NASCIMENTO, J.P. do; LEITE, R. de A. Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**, Gramado-RS, 2007.

ORONA-CASTILLO, I.; CUETO-WONG, J.A.; MURILLO-AMADOR, B.; SANTAMARÍA-CÉSAR, J.; FLORES-HERNÁNDEZ, A.; VALDEZ-CEPEDA, R.D.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J.L.; TROYO-DIÉGUEZ, E. Extracción nutricional de nopal-verdura bajo condiciones de riego por goteo. 2004. Disponível em <http://www.jpacd.org>. Consultado em 08 de dezembro de 2007.

OTONI, T.; AE, N. Sensitivity of phosphorus uptake to changes in root length and soil volume. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 3, p. 371-375, 1996.

PEQUENO, P.L. de L. **Sistema radicular de leguminosas: efeito em algumas propriedades de um podzólico vermelho-amarelo**. Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 1999, 55f. (Dissertação Mestrado).

PERYEA, F.J. Phosphate fertilizer induced salt toxicity of newly planted apple tress. **Soil Science Society American Journal**, v. 54, n. 6, p. 1778-1783, 1990.

PINTO, M. do S. de C. **Avaliação de características do solo e do sistema radicular da palma forrageira no cariri ocidental da Paraíba**. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia-PB, 2002, 52f. (Monografia de graduação).

PREFEITURA MUNICIPAL DE PATOS-PB. Perfil municipal. Sd. Disponível em <http://www.patos.pb.gov.br>. Consultado em 28 de julho de 2007.

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

RAMÍREZ-TOBIÁS, H.M.; REYES-AGUERO, J.A.; PINOS-RODRÍGUEZ, J.M.; AGUIRRE-RIVERA, J.R. Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladódios de nopal. **Agrociencia**, v. 41, n. 6, p. 619-626, 2007.

RAVETTA, D.A.; MCLAUGHLIN, S.P. Ecophysiological studies in *Hesperaloe frinifera* (Agavaceae): a potential new CAM crop. Seasonal patterns of photosynthesis. **Journal of Arid Environments**, v. 33, n. 2, p. 211-223, 1996.

REYES-AGUERO, J.A.; AGUIRRE-RIVERA, J.R.; HERNÁNDEZ, H.M. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (Cactáceae). **Agrociencia**, v. 39, n. 4, p. 395-408, 2005.

REYES-AGUERO, J.A.; AGUIRRE-RIVERA, J.R.; VALIENTE-BANUET, A. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. **Journal of Arid Environments**, v. 64, n. 4, p. 549-585, 2006.

RODRIGUEZ, J.F. A comparison of the nutritional value of *Opuntia* and Agave plants for ruminants. 1997a. Disponível em <http://www.jpacd.org>. Consultado em 07 de dezembro de 2007.

RODRIGUEZ, J.F. Feeding prickly pear cactus to small ruminants in Northern México. I. Goats. 1997b. disponível em <http://www.jpacd.org>. Consultado em 09 de dezembro de 2007.

ROJAS-ARÉCHIGA, M.; VÁZQUEZ-YANES, C. Cactus seed germination: a review. **Journal of Arid Enviroments**, v. 44, n. 1, p. 85-104, 2000.

ROMO, M.M.; ESTRADA, G.T.; HARO, I.M.; SOLIS, I.C.; CRUZ-VÁZQUEZ, C. Digestibilidad in situ de dietas com harina de nopal desidratado conteniendo um preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1173-1177, 2006.

ROSOLEM, C.A.; MARCELLO, C.S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, v. 55, n. 3, p. 448-455, 1998.

RUIZ-ESPINOZA, F.H.; ALVARADO-MENDOZA, J.F.; MURILLO-AMADOR, B.; GARCIA-HERNÁNDEZ, L.; PARGAS-LARA, R.; DUARTE-OSUNA, J. de D.; BELTRANI-MORALES, F.A.; FENECH-LARIOS, L. Rendimiento y crecimiento de nopalitos de cultivares de nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo diferentes densidades de plantación. 2008. Disponível em <http://www.jpacd.org>. Consultado em 05 de agosto de 2008.

SÁENZ, C. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia spp.*) fruits and cladodes. **Journal of Arid Environments**, v. 46, n. 3, p. 209-225, 2000.

SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. *Opuntia spp* mucilage's: a functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 3, p. 275-290, 2004.

SALES, A.T.; ANDRADE, A.P. de. Potencial de adaptação de variedades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) no cariri paraibano. In: IV Congresso Nordeste de Produção Animal. Petrolina-PE, p. 434-438. 2006.

SALEM, H.B.; NEFZAQUI, A.; SALEM, L.B. Supplementing spineless cactus (*Opuntia ficus-indica f. inermis*) based diets with urea-treated straw or oldman saltbush (*Atriplex nummularia*). Effects on intake, digestion and sheep growth. **Journal of Agricultural Science**, p. 85-92, 2002.

SAMPAIO, E.V.S.B. Fisiologia da palma. In; MENEZES, R.S.C.et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p. 43-55.

SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; FARIAS, I.; BURITY, H.A.; NASCIMENTO, M.M.A.; TAVARES, FILHO, J.J. Estudo comparativo das cultivares de palma forrageira "Gigante", "Redonda" (*Opuntia ficus-indica* Mill) e Miúda (*Nopalea cochenillífera*, *Salm Dyck*) na produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 19, n. 6, p. 504-511, 1990.

SANTOS, D.C. dos; FARIAS, I.; NASCIMENTO, M.M.A. do; LIRA, M. de A.; TABOSA, J. N. Estimativas de parâmetros genéticos em clones de palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 12, p. 1947-1957, 1994.

SANTOS, D.C. dos; LIRA, M. de A. Palma forrageira. CAVALCANTE, F.J. de A. (Coord.). **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação, 2ª edição** revisada, Recife: IPA, 1998. p.167.

SANTOS, D.C. dos; SANTOS, M.V.F. dos; FARIAS, I.; DIAS, F.M.; LIRA, M. de A. Desempenho produtivo de vacas 5/8 Holando/Zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 1, p. 12-17, 2001.

SANTOS, M.V.F.dos; FERREIRA, M. de A.; BATISTA, A.M.V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In; MENEZES, R.S.C. et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p. 143-162.

SANTOS, D.C. dos; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; DIAS, F.M.; PEREIRA, V.L.A. Níveis de nitrogênio e fósforo em palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) clone IPA-20 sob dois espaçamentos. In: IV Congresso Nordestino de Produção Animal. Petrolina-PE, p. 381-383. 2006.

SCHEINVAR, L. Taxonomia das *Opuntias* utilizadas. In: **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001. p. 20-27.

SILVA, M.da C.; YDOYAGA, D.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.F.V.; MELO, J.N. de; SANTOS, D.C. dos; FERREIRA, R.L.C. Influência da adubação e do espaçamento sobre a composição química da palma forrageira cv. Clone IPA-20. In: 38ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001, Piracicaba-SP. **Anais...CD-ROM**, Piracicaba-SP, 2001.

SILVA, C.C.F. da; SANTOS, L.C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. *Revista Eletrônica de Veterinária*, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006. Disponível em <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>. Consultado em 10 de julho de 2007.

SINGH, R.S.; SINGH, V. Growth and development influenced by size, age and planting methods of cladodes in Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill). 2003. Disponível em [http://www. Jpacd.org.br](http://www.Jpacd.org.br). Consultado em 08 de dezembro de 2007.

SNYMAN, H.A. Effect of water stress on root growth of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*. **South African Journal of Animal Science**, v. 34 (supplement 2), p. 101-103, 2004a.

SNYMAN, H.A. Effect of various water application strategies on root development of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta* under greenhouse growth conditions. 2004b. Disponível em [http:// www.jpacd.org/v6/Snyman3fml.pdf](http://www.jpacd.org/v6/Snyman3fml.pdf). Consultado em 11 de março de 2007.



SNYMAN, H.A. A case study on in situ rooting profiles and water-use efficiency of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*. 2005. Disponível em <http://www.ipacd.org/v7/v7p1-215snymo.pdf>. Consultado em 23 de abril de 2007.

SNYMAN, H.A. Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta* plants. 2006a. Disponível em <http://www.agritv.co.za>. Consultado em 23 de abril de 2007.

SNYMAN, H.A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*. **Journal of Arid Environments**, v. 65, n. 4, p. 529-542, 2006b.

SOUTO, J.S.; ISHY, T.; ROSOLEM, C.A.; CAVARIANI, C. Distribuição do sistema radicular de aveia preta em função da população e espaçamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 9, p. 1283-1289, 1992.

SOUTO, P.C. **Decomposição da celulose e da serrapilheira em área de caatinga**. Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CSTR), Patos-PB, 1999, 42f. (Monografia de Graduação).

SOUZA, E. de A.; COELHO, E.F.; PAZ, V.P. da S. Distribuição de raízes do mamoeiro fertirrigado com três frequências de aplicação de fósforo. **Magistra**, v. 18, n. 1, p. 14-20, 2006.

SUDZUKI-HILLS, F. Anatomia e fisiologia. In: **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001. p. 28-34.

TELES, M.M.; SANTOS, M.V.F. dos; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; LIRA, M. de A.; FERREIRA, R.L.C.; BEZERRA NETO, E.; 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.

TEIXEIRA, J.C.; EVANGELISTA, A.R.; PEREZ, J.R.O.; TRINDADE, I.A.C.M.; MORON, I.R. Cinética da digestão ruminal da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* (L.) Lyons-Cactaceae) em bovinos e caprinos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, n. 1, p. 179-186, 1999.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal Ecology**, v. 63, p. 995-1001, 1975.

VALDEZ, C.A.F.; OSORIO, G.A. *Opuntia*- based ruminant feeding systems in México. 1997. Disponível em <http://www.Jpacd.org>. Consultado em 07 de dezembro de 2007.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 849-858, 2003.

VÁZQUEZ-VÁZQUEZ, C.; ZÚÑIGA-TARANGO, R.; ORONA-CASTILLO, I.; MURILLO-AMADOR, B.; SALAZAR-SOSA, E.; VÁSQUEZ-ALVARADO, R.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J.L.; TROYO-DIÉGUEZ, E. Análisis del crecimiento radical en cuatro variedades de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill). 2007. Disponível em <http://www.jpacd.org>. Acesso em 12 de maio de 2008.

VEGA, F.V.A.; BOVI, M.L.A.; GODOY JÚNIOR, G.; BERTON, R.S. Lodo de esgoto e sistema radicular da pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 259-268, 2005.

VIEIRA, E. de L. **Adição de fibras em dietas contendo palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) para caprinos**. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2006, 65f. (Tese de Doutorado).

ZÚÑIGA-TARANGO, R.; VÁSQUEZ-ALVARADO, R.; SALAZAR-SOSA, E. Patrón de desarrollo radical de nopal em diferentes condiciones de suelo y su relación com el rendimiento. **In:** AGUIRRE-RIVERA, J.R.; REYES-AGUERO, J.A (eds). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. VIII Congreso Nacional Y Congreso Internacional. Universidad Autónoma de San Luís Potosí, San Luís Potosí, México, p.12-13, 1999.

WAAL, H.O. de.; ZEEMAN, D.C.; COMBRINCH, W.J. Wet faeces produced by sheep fed dried spineless cactus pear cladodes in balanced diets. **South African Journal of Animal Science**, v. 36, n. 5, p. 10-14, 2006.

WILCOX, C.S.; FERGUSON, J.W.; FERNANDEZ, G.C.J.; NOWAK, R.S. Fine root growth dynamics of four Mojave Desert shrubs as related to soil moisture and microsite. **Journal of Arid Environments**, v.56, n. 1, p. 129-148, 2004.

## 6 APÊNDICES

7.1 Apêndice A Quadros dos resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para a distribuição radicular da palma forrageira, aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

Quadro 1 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na linha (0 – 10 cm), aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,653	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,293	>0,1
	Reg. Cúbica	1	4,142	0,05
Fator 2	Reg. Linear	1	4,820	0,036
	Reg. Quadrática	1	0,275	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,143	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,268	>0,1
Tratamentos		15	1,449	>0,1
Blocos		02	3,845	0,032
Q.M. Resíduo		30	776,64	
Total		47		

Quadro 2 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na linha (10 – 20 cm), aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	1,151	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,814	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,340	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	4,350	0,045
	Reg. Quadrática	1	0,174	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,190	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,041	>0,1
Tratamentos		15	1,093	>0,1
Blocos		02	0,203	>0,1
Q.M. Resíduo		30	472,92	
Total		47		

Quadro 3 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na entrelinha (0 – 10 cm), aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,234	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,072	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,639	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	4,102	0,05
	Reg. Quadrática	1	0,007	>0,1
	Reg. Cúbica	1	2,386	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,486	>0,1
Tratamentos		15	0,787	>0,1
Blocos		02	3,376	0,04
Q.M. Resíduo		30	937,78	
Total		47		

Quadro 4 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na entrelinha (10 – 20 cm), aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,001	0,05
	Reg. Quadrática	1	0,003	0,09
	Reg. Cúbica	1	0,020	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	0,068	>0,1
	Reg. Quadrática	1	1,287	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,027	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,096	>0,1
Tratamentos		15	0,751	>0,1
Blocos		02	1,219	>0,1
Q.M. Resíduo		30	257,48	
Total		47		

Quadro 5 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na linha (0 – 10 cm), aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,675	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,282	>0,1
	Reg. Cúbica	1	4,128	0,05
Fator 2	Reg. Linear	1	4,846	0,03
	Reg. Quadrática	1	0,282	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,150	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,286	>0,1
Tratamentos		15	1,462	>0,1
Blocos		02	3,801	0,03
Q.M. Resíduo		30	0,07	
Total		47		

Quadro 6 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na linha (10 – 20 cm), aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	1,058	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,805	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,339	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	4,448	0,04
	Reg. Quadrática	1	0,192	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,170	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,060	>0,1
Tratamentos		15	1,104	>0,1
Blocos		02	0,186	>0,1
Q.M. Resíduo		30	0,04	
Total		47		

Quadro 7 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na entrelinha (0 – 10 cm), aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,238	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,077	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,609	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	4,130	0,05
	Reg. Quadrática	1	0,005	>0,1
	Reg. Cúbica	1	2,422	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,487	>0,1
Tratamentos		15	0,791	>0,1
Blocos		02	3,378	0,04
Q.M. Resíduo		30		0,09
Total		47		

Quadro 8 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na entrelinha (10 – 20 cm), aos 120 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,0004	0,03
	Reg. Quadrática	1	0,0041	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,0203	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	0,616	>0,1
	Reg. Quadrática	1	1,2128	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,0227	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,1097	>0,1
Tratamentos		15	0,7539	>0,1
Blocos		02	1,2197	>0,1
Q.M. Resíduo		30		0,02
Total		47		

7.2 Apêndice B Quadros dos resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para a distribuição radicular da palma forrageira, aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

Quadro 9 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na linha (0 – 10 cm), aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,248	>0,1
	Reg. Quadrática	1	2,198	>0,1
	Reg. Cúbica	1	8,395	0,006
Fator 2	Reg. Linear	1	1,820	>0,1
	Reg. Quadrática	1	1,588	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,589	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,875	>0,1
Tratamentos		15	1,514	>0,1
Blocos		02	2,53	0,09
Q.M. Resíduo		30		936,90
Total		47		

Quadro 10 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na linha (10 – 20 cm), aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,510	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,014	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,023	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	22,330	<0,001
	Reg. Quadrática	1	0,643	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,803	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,875	>0,1
Tratamentos		15	2,146	0,03
Blocos		02	0,429	>0,1
Q.M. Resíduo		30		703,57
Total		47		

Quadro 11 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na entrelinha (0 – 10 cm), aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,505	>0,1
	Reg. Quadrática	1	4,088	0,05
	Reg. Cúbica	1	2,399	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	0,481	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,068	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,130	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,180	>0,1
Tratamentos		15	1,22	>0,1
Blocos		02	13,701	<0,001
Q.M. Resíduo		30		223,55
Total		47		

Quadro 12 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na entrelinha (10 – 20 cm), aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	1,024	>0,1
	Reg. Quadrática	1	9,918	0,003
	Reg. Cúbica	1	0,505	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	3,257	0,081
	Reg. Quadrática	1	0,416	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,0009	0,047
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,516	>0,1
Tratamentos		15	1,918	0,06
Blocos		02	2,554	0,09
Q.M. Resíduo		30		34,68
Total		47		

Quadro 13 Resultados parciais da ANOVA da regressão para densidade radicular na linha (0 – 10 cm), aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,244	>0,1
	Reg. Quadrática	1	2,217	>0,1
	Reg. Cúbica	1	8,393	0,006
Fator 2	Reg. Linear	1	1,768	>0,1
	Reg. Quadrática	1	1,61	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,584	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,872	>0,1
Tratamentos		15	1,511	>0,1
Blocos		02	2,540	0,095
Q.M. Resíduo		30		0,09
Total		47		

Quadro 14 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para a densidade radicular na linha (10 – 20 cm), aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,491	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,016	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,022	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	22,367	<0,001
	Reg. Quadrática	1	0,681	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,808	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,876	>0,1
Tratamentos		15	2,151	0,03
Blocos		02	0,416	>0,1
Q.M. Resíduo		30		0,06
Total		47		

Quadro 15 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na entrelinha (0 – 10 cm), aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,497	>0,1
	Reg. Quadrática	1	4,110	0,05
	Reg. Cúbica	1	2,445	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	0,437	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,059	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,145	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,168	>0,1
Tratamentos		15	1,213	>0,1
Blocos		02	13,550	<0,001
Q.M. Resíduo		30		0,02
Total		47		

Quadro 16 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na entrelinha (10 – 20 cm), aos 240 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	1,122	>0,1
	Reg. Quadrática	1	9,665	0,004
	Reg. Cúbica	1	0,468	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	3,039	0,09
	Reg. Quadrática	1	0,547	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,001	0,06
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,480	>0,1
Tratamentos		15	1,878	0,06
Blocos		02	2,445	>0,1
Q.M. Resíduo		30		0,003
Total		47		



7.3 Apêndice C Quadros dos resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para a distribuição radicular da palma forrageira, aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

Quadro 17 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na linha (0 – 10 cm), aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,001	0,06
	Reg. Quadrática	1	0,178	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,918	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	0,492	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,188	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,221	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,900	>0,1
Tratamentos		15	0,673	>0,1
Blocos		02	0,045	0,08
Q.M. Resíduo		30		3,659,26
Total		47		

Quadro 18 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na linha (10 – 20 cm), aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	2,472	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,052	>0,1
	Reg. Cúbica	1	4,881	0,03
Fator 2	Reg. Linear	1	7,972	0,008
	Reg. Quadrática	1	0,259	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,120	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,964	>0,1
Tratamentos		15	1,629	>0,1
Blocos		02	4,988	0,01
Q.M. Resíduo		30		2.640,15
Total		47		

Quadro 19 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na entrelinha (0 – 10 cm), aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,404	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,030	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,605	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	2,499	>0,1
	Reg. Quadrática	1	2,732	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,116	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,603	>0,1
Tratamentos		15	0,788	>0,1
Blocos		02	1,490	>0,1
Q.M. Resíduo		30		1.256,42
Total		47		

Quadro 20 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para comprimento radicular na entrelinha (10 – 20 cm), aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,267	>0,1
	Reg. Quadrática	1	4,607	0,04
	Reg. Cúbica	1	3,060	0,09
Fator 2	Reg. Linear	1	2,395	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,100	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,106	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,031	>0,1
Tratamentos		15	1,321	>0,1
Blocos		02	0,720	>0,1
Q.M. Resíduo		30		319,11
Total		47		

Quadro 21 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na linha (0 – 10 cm), aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,002	0,07
	Reg. Quadrática	1	0,178	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,910	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	0,499	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,191	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,218	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,901	>0,1
Tratamentos		15	0,674	>0,1
Blocos		02	0,044	0,08
Q.M. Resíduo		30		0,35
Total		47		

Quadro 22 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na linha (10 – 20 cm), aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

	F.V.	G.L.	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	2,461	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,056	>0,1
	Reg. Cúbica	1	4,887	0,03
Fator 2	Reg. Linear	1	7,977	0,008
	Reg. Quadrática	1	0,267	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,121	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,965	>0,1
Tratamentos		15	1,630	>0,1
Blocos		02	4,991	0,01
Q.M. Resíduo		30		0,25
Total		47		

Quadro 23 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na entrelinha (0 – 10 cm), aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

	F.V.	G.L	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,399	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,030	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,563	>0,1
Fator 2	Reg. Linear	1	2,482	>0,1
	Reg. Quadrática	1	2,708	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,105	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	0,593	>0,1
Tratamentos		15	0,775	>0,1
Blocos		02	1,479	>0,1
Q.M. Resíduo		30		0,12
Total		47		

Quadro 24 Resultados parciais da ANOVA da regressão polinomial para densidade radicular na entrelinha (10 – 20 cm), aos 360 dias após o plantio, em função dos espaçamentos entre plantas e doses de superfosfato simples.

	F.V.	G.L	F	P
Fator 1	Reg Linear	1	0,259	>0,1
	Reg. Quadrática	1	4,502	0,04
	Reg. Cúbica	1	3,054	0,09
Fator 2	Reg. Linear	1	2,493	>0,1
	Reg. Quadrática	1	0,091	>0,1
	Reg. Cúbica	1	0,101	>0,1
Int. F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub>		9	1,018	>0,1
Tratamentos		15	1,311	>0,1
Blocos		02	0,745	>0,1
Q.M. Resíduo		30		0,03
Total		47		