

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**AVALIAÇÃO QUÍMICA E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO *IN VITRO* DA PALMA  
FORRAGEIRA SOB DIFERENTES CULTIVOS NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

**GIL MARIO FERREIRA GOMES**

**FORTALEZA – CE  
FEVEREIRO/2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**AVALIAÇÃO QUÍMICA E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO *IN VITRO* DA PALMA  
FORRAGEIRA SOB DIFERENTES CULTIVOS NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

**GIL MARIO FERREIRA GOMES**  
**Zootecnista**

**FORTALEZA – CE  
FEVEREIRO/2016**

**GIL MARIO FERREIRA GOMES**

**AVALIAÇÃO QUÍMICA E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO *IN VITRO*  
DA PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES CULTIVOS NO  
SEMIÁRIDO DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

**Orientador:** Prof. Dr. José Neuman Miranda Neiva

**Coorientador:** Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido

**FORTALEZA – CE  
FEVEREIRO/2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- G614a Gomes, Gil Mario Ferreira.  
Avaliação química e cinética de degradação *in vitro* da palma forrageira sob diferentes cultivos no semiárido do Brasil. / Gil Mario Ferreira Gomes. – 2016.  
69 f. : il., color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,  
Departamento de Zootecnia, Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, Fortaleza, 2016.  
Área de Concentração: Forragicultura.  
Orientação: Prof. Dr. José Neuman Miranda Neiva.  
Coorientação: Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido.
1. Palma - Plantas forrageiras. 2. *Opuntia ficus indica*. 3. Adubos e fertilizantes. I. Título.

---

CDD 636.08

**GIL MARIO FERREIRA GOMES**

**AVALIAÇÃO QUÍMICA E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO *IN VITRO*  
DA PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES CULTIVOS NO  
SEMIÁRIDO DO BRASIL**

Tese defendida e aprovada pela comissão examinadora em 15 de fevereiro de 2016

Comissão Examinadora:

---

Prof. Dr. José Neuman Miranda Neiva  
Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia – PDIZ (UFC/UFRPE/UFPB)

---

Profa. Dra. Elzânia Sales Pereira  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Profa. Dra. Maria Socorro de Souza Carneiro  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Dr. Diego Barcelos Galvani  
Embrapa Caprinos e Ovinos

---

Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

**FORTALEZA – CE  
FEVEREIRO/2016**

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

GIL MARIO FERREIRA GOMES – filho de Maria Edna Ferreira Gomes, nasceu na cidade de Sobral, Ceará, Brasil, em 02 de maio de 1985. Em 2004.1, ingressou no curso de graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA, recebendo, em 2008.1, o título de Zootecnista. Em fevereiro de 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção Animal, da UVA em parceria com a Embrapa Caprinos e Ovinos, desenvolvendo trabalhos na área de avaliação de alimentos para ruminantes, recebendo, em fevereiro de 2011, o título de Mestre em Zootecnia. Em março de 2011, ingressou no curso de Doutorado do Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará-UFC/UFPB/UFRPE, na área de concentração de Forragicultura, obtendo o grau de Doutor em fevereiro de 2016.

“Se o tempo é limitado, então não desperdice-o vivendo a vida dos outros. Não caia na armadilha do dogma, que é viver pelo que os outros esperam. Não deixe o barulho de vozes alheias silenciar sua voz interior. E o mais importante: tenha coragem de seguir seu coração e intuição, de alguma maneira, eles já sabem o que você realmente quer se tornar. Todo o resto é secundário.” **(Steve Jobs)**

À minha mãe, **Maria Edna**, pelo exemplo de coragem, perseverança, força e por ter acreditado na educação como meio de realizar sonhos.

Aos meus avós: **Raimunda (Betinha)** e **Antônio Gomes**, pelo amor e pelas orações que me deram força e proteção.

À minha querida esposa **Fabiana Marques**, pelo apoio, paciência e amor.

À minha filha **Gabrielly Gomes**, que me incentivou em cada sorriso e pelo amor puro e ternura.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Ao Programa REUNI de Orientação e Operacionalização da Pós-Graduação Articulada à Graduação PROPAG/CAPES, pela concessão de bolsa de estudo.

À minha mãe, Maria Edna Ferreira Gomes, minha esposa, Fabiana Marques de Souza Gomes e minha Filha Gabrielly Marques Gomes, pelo amor, carinho e confiança. Foram os principais responsáveis por essa conquista.

Ao Prof. Dr. José Neuman Miranda Neiva, pela orientação e pelo exemplo profissional de competência científica.

Ao Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido, pela relevante co-orientação e ensinamentos que levarei para sempre comigo.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Gregório, por sempre estar disponível nos momentos de dúvidas.

Ao Dr. Diego Galvani, pelo apoio às análises estatísticas do ensaio de fermentação ruminal *in vitro*.

Ao Prof. Ismail Soares, pelo apoio relevante às análises estatísticas.

Ao amigo Marcos Neves Lopes, pelo companheirismo, amizade e pelas sugestões e apoio que foram relevantes para esta pesquisa.

Aos amigos Theyson, Walisson (Woli), Gleyson, Ellen, Vinicius Bezerra, Dhones, Jander, Gutenberg Lira e João Paulo, pela ajuda relevante em várias etapas da pesquisa.

Aos amigos Rildson e Allisson Ney, pelo companheirismo, amizade e incentivo.

Às funcionárias do Laboratório de Nutrição Animal da UFC (LANA), Roseane e Helena, pela colaboração nas análises laboratoriais. Às amigas Daiane Rodrigues, Paula Joyce, Amanda Rocha, Virginia e Regina, pelo apoio e amizade.

Aos membros da banca de defesa de tese, Profa Socorro Carneiro, Profa Elzânia Sales, Prof. Rodrigo Gregório e Dr. Diego Galvani, pelas sugestões que contribuíram de forma significativa para melhorar a qualidade deste trabalho.

Aos demais colegas que contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMO GERAL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Fatores que afetam a qualidade da forragem .....	3
2.2 Qualidade da palma forrageira.....	5
2.3 Efeito da frequência de colheita sobre a qualidade da palma forrageira.....	7
2.4 Efeito da fertilização do solo sobre a qualidade da palma forrageira .....	8
2.5 Efeito da ordem de cladódio sobre a qualidade da palma forrageira .....	10
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
3.1 Localização e caracterização da área experimental .....	10
3.2 Espécie forrageira e instalação do experimento .....	11
3.3 Tratamentos e delineamento experimental .....	11
3.4 Colheita de amostras de palma .....	12
3.5 Análises química e mineral .....	13
3.6 Degradação <i>in vitro</i> da matéria seca .....	13
3.7 Análise estatística.....	14
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>15</b>
4.1 Composição química da palma forrageira.....	15
4.1.1 Ordem de cladódio .....	15
4.1.2 Planta inteira .....	23
4.2 Composição mineral da palma forrageira .....	27
4.2.1 Macrominerais .....	27
4.2.2 Microminerais.....	32
4.3 Degradação <i>in vitro</i> da matéria seca .....	35
4.3.1 Produção cumulativa de gás .....	35
4.3.2 Parâmetros cinéticos de degradação <i>in vitro</i> .....	39
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>43</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>44</b>

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
Tabela 1. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da composição química de cladódios primários (Pri) e secundários (Sec) de palma forrageira cv. Gigante nas frequências de colheita anual (A) e bianual (B) em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo .....	16
Tabela 2. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da composição química de cladódios primários (Pri), secundários (Sec) e terciários (Terc) de palma forrageira cv. Gigante nas frequências de colheita anual (A) e bianual (B) em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo.....	18
Tabela 3. Composição química de cladódios primários e secundários de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá.....	22
Tabela 4. Composição química de cladódios primários, secundários e terciários de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca.....	22
Tabela 5. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da composição química da palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual e bianual em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo .....	24
Tabela 6. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da composição química da palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual e bianual em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo.....	25
Tabela 7. Composição química da palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá.....	26
Tabela 8. Composição química da palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca.....	27
Tabela 9. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de macrominerais da palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo.....	28

Tabela 10. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de teores macrominerais da palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo.....	29
Tabela 11. Macrominerais da palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá.....	31
Tabela 12. Macrominerais da palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca.....	32
Tabela 13. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de microminerais da planta de palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual e bianual em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo .....	33
Tabela 14. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de teores microminerais da planta de palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual e bianual em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo.....	34
Tabela 15. Microminerais da planta de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá.....	35
Tabela 16. Microminerais da planta de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca.....	35
Tabela 17. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos parâmetros cinéticos da planta de palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo .....	39
Tabela 18. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos parâmetros cinéticos da planta de palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo .....	40
Tabela 19. Parâmetros cinéticos da planta de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá .....	42
Tabela 20. Parâmetros cinéticos da planta de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca .....	42

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
Figura 1. Procedimento de diluição da ureia. a) Colocação da ureia no frasco. b) Inclusão de água até a medida de 1 L .....	12
Figura 2. Produção total de gás da MS em função dos tempos de incubação da palma forrageira cv. Gigante cultivada em Quixadá sob diferentes combinações de nitrogênio (N) fósforo (P): N10P70; N70P10; N70P70; N70P130; N100P100; N130P70; N130P130; N130P190 e N190P130; e frequências de colheita: anual (I1) e bianual (I2).....	37
Figura 3. Produção total de gás da MS em função dos tempos de incubação da palma forrageira cv. Gigante cultivada em Tejuçuoca sob diferentes combinações de nitrogênio (N) fósforo (P): N10P70; N70P10; N70P70; N70P130; N100P100; N130P70; N130P130; N130P190 e N190P130; e frequências de colheita: anual (I1) e bianual (I2).....	38

## **AVALIAÇÃO QUÍMICA E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO *IN VITRO* DA PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES CULTIVOS NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

**RESUMO GERAL** - Objetivou-se, com o presente estudo, avaliar os efeitos da adubação nitrogenada (N)|fosfatada (P) e da frequência de colheita sobre a composição química e a cinética de degradação *in vitro* da palma forrageira cv. Gigante. A pesquisa foi realizada nas condições semiáridas de Quixadá e Tejuçuoca, ambas localizadas no estado do Ceará, Brasil. Estudou-se nove combinações de N e P, a partir de cinco doses de N (10; 70; 100; 130 e 190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e cinco doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (10; 70; 100; 130 e 190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e duas frequências de colheita (anual e bianual). Foi adotado um delineamento em blocos casualizados, em arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Observou-se que as doses de N e P influenciaram a composição química, mineral e os parâmetros cinéticos fermentativos da palma forrageira. Contudo, o tipo de resposta variou com a frequência de colheita, com a localidade e com a ordem de cladódio. Os teores de MST dos cladódios avaliados reduziram-se com o aumento das doses de P aplicadas ao solo, a exceção foi observada para o teor de MST de cladódios primários e secundários sob colheita bianual em Tejuçuoca. Em relação aos teores de PB, FDN, MO e CHT dos cladódios avaliados, aumentaram com as doses de N e/ou P. Contudo, algumas exceções foram observadas, por exemplo, redução do teor de PB de cladódios primários nas duas localidades e de cladódios secundários em Tejuçuoca, com colheita bianual, indicando movimento de compostos nitrogenados de cladódios mais velhos para cladódios mais jovens. Houve também redução, com a adubação, do teor FDN de cladódios secundários sob colheita anual em Quixadá; do teor de MO de cladódios secundários sob colheita anual em Tejuçuoca; e do teor de CHT de cladódios secundários e terciários sob colheita anual em Tejuçuoca. O efeito da frequência de colheita demonstrou que os teores de MO, CHT e FDN dos cladódios aumentaram e o teor de PB reduziu com colheita bianual nas duas localidades. Porém, o teor de PB de cladódios primários em Tejuçuoca não foi influenciado pela frequência de colheita. No caso da planta inteira de palma forrageira, o teor de MST, sob colheita anual, em ambas as localidades, reduziu com as doses de P, mas em Quixadá, sob colheita bianual, houve aumento com as doses de N e P. Os teores de PB, FDN e MO aumentaram em resposta às doses de N e P. A exceção foi observada para o teor de FDN sob colheita anual em Quixadá, para o teor de MO sob colheita bianual em Quixadá e anual em Tejuçuoca. A redução do teor de CHT com a adubação foi associada ao aumento do teor de PB. O efeito da frequência de colheita demonstrou que os teores de MO, FDN e CHT da palma forrageira aumentaram e o

teor de PB reduziu com colheita bianual em Quixadá; em Tejuçuoca, houve redução do teor de MST e aumento do teor de FDN. A adubação reduziu os teores de P, e Ca da palma forrageira. O teor de Ca diminuiu de forma mais acentuada nas condições de Tejuçuoca, o que permitiu reduzir a relação Ca:P para 9,72:1, com a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, na colheita bianual na referida localidade. Os teores de Mg, S, Fe e Mn aumentaram em função das adubações, exceto para o teor de Mg sob colheita anual em Quixadá e para o teor de Fe sob colheita bianual em Tejuçuoca. O efeito das adubações sobre os teores de K e Cu variou com a frequência de colheita e com a localidade. O efeito da frequência de colheita demonstrou maior teor de S com colheita bianual em ambas as localidades. Em Quixadá, sob colheita bianual, observou-se menor teor de P, K, Mg e Mn. Nessa mesma condição, em Tejuçuoca, verificou-se menor teor de Ca e Fe e maiores teores de Mg, Cu e Mn. A produção total de gás, taxa de digestão e o tempo de colonização aumentaram com as doses de N e P. A exceção foi observada para a produção total de gás com colheita anual em Quixadá. A colheita bianual resultou em menor produção total de gás e taxa de digestão em Quixadá. Em Tejuçuoca, houve aumento da taxa de digestão e do tempo de colonização com colheita bianual. A adubação nitrogenada melhora a qualidade de cladódios sob colheita anual em ambas as localidades, reduz a qualidade de cladódios primários sob colheita bianual em ambas as localidades e de cladódios secundários em Tejuçuoca. No caso da planta inteira de palma forrageira, as maiores doses de N e P resultam em melhor qualidade sob colheita bianual em ambas as localidades e em maior teor de S e Mn e em maior digestibilidade nas duas frequências de colheita nas duas localidades. A palma forrageira também mostrou-se rica em Ca, K e Fe e deficiente em P e Cu. A colheita anual melhora a qualidade de cladódios primários e secundários em Quixadá e de cladódios secundários e terciários em Tejuçuoca. A colheita anual também melhora a qualidade da planta inteira de palma forrageira em Quixadá. Em Tejuçuoca, a frequência de colheita apresenta menor influência sobre a qualidade da planta inteira de palma forrageira com a colheita bianual, promovendo maior taxa de digestão. Em Tejuçuoca, os teores de Mg, Cu e Mn são menores sob colheita anual, no entanto, o teor de S é menor em ambas as localidades nessa frequência de colheita.

**Palavras-chave:** Adubação. Frequência de colheita. *Opuntia ficus-indica*. Ordem de Cladódio. Taxa de digestão.

## CHEMICAL ASSESSMENT AND *IN VITRO* DEGRADATION KINETICS OF CACTUS PEAR IN DIFFERENT CULTIVATIONS IN THE BRAZILIAN SEMIARID

**ABSTRACT** – This study aimed to evaluate the effects of N and P fertilization and harvesting frequency on chemical composition and *in vitro* degradation kinetics of cactus pear cv. ‘Gigante’. The study was conducted under semi-arid conditions of Quixadá and Tejuçuoca, located in the State of Ceará, Brazil. Analysis was made for nine combinations of N and P with five N levels (10, 70, 100, 130 and 190 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) and five levels of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (10; 70; 100; 130 and 190 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) and two harvesting frequency (annual and biennial). Treatments were arranged in a split plot randomized block design with four replications. N and P levels influenced the chemical and mineral composition and fermentation kinetics parameters of the cactus pear, however, the type of response varied according to the harvesting frequency, locality and the cladode order. DM content of cladodes decreased with rising levels of P applied to the soil, except for the DM content of primary and secondary cladodes under biennial harvesting in Tejuçuoca. Considering the content of CP, NDF, OM and TC, values increased with levels of N and/or P. Some exceptions can be pointed out, such as the reduction in CP content of primary cladodes in both locations and of secondary cladodes in Tejuçuoca with biennial harvest, indicating displacement of nitrogenous compounds from older to younger cladodes. Also, the NDF content of secondary cladodes under annual harvest, in Quixadá; OM content of secondary cladodes under annual harvest, in Tejuçuoca, and TC content of secondary and tertiary cladodes under annual harvest, in Tejuçuoca, decreased with fertilization. The effect of harvesting frequency showed that OM, TC and NDF content of cladodes increased and CP content reduced with biennial harvest in both locations. However, the CP content of primary cladodes in Tejuçuoca was not influenced by the harvesting frequency. In the case of cactus pear plant, DM content under annual crop in both locations was reduced according to levels of P, but in Quixadá, under biennial harvest, there was an increase with N and P levels. Content of CP, NDF and OM increased in response to N and P levels. The exception was found for NDF content under annual harvest in Quixadá and for OM content under biennial harvest, in Quixadá, and annual, in Tejuçuoca. The reduction in TC content with fertilization was associated with increased CP content. The effect of harvesting frequency showed that OM, NDF and TC of cactus pear increased and CP content decreased with biennial harvest, in Quixadá; in Tejuçuoca, there was a reduction in DM content and increase in NDF. Fertilization reduced the content of P and Ca of the cactus pear. The content of Ca decreased more prominently in Tejuçuoca, which reduced the Ca:P

ratio to 9.72:1 with the combination N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> at 190|10 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> in the biennial harvest in such locality. The content of Mg, S, Fe and Mn increased with fertilization, except for the Mg content under annual harvest, in Quixadá, and the Fe content, under biennial harvest, in Tejuçuoca. The effect of fertilization on K and Cu contents varied with the harvesting frequency and locality. The effect of harvesting frequency showed higher S content under biennial harvest in both locations. In Quixadá, under biennial harvest, there were lower contents of P, K, Mg and Mn. Under this same condition, in Tejuçuoca, it was found a lower content of Ca and Fe and higher content of Mg, Cu and Mn. The total gas production, digestion rate and the lag time increased with increasing levels of N and P. The exception was verified for total gas production, under annual harvest, in Quixadá. The biennial harvest resulted in lower total gas production and digestion rate in Quixadá. In Tejuçuoca, there was increase in digestion rate and lag time under biennial harvest. Nitrogen fertilization improves the quality of cladodes under annual harvest in both locations and reduces the quality of primary cladodes under biennial harvest in both locations and of secondary cladodes in Tejuçuoca. In the case of cactus pear plant, higher levels of N and P applied result in better quality under biennial harvesting in both locations; in higher content of S and Mn and in higher digestibility in both harvesting frequency and in both locations. Cactus pear was also rich in Ca, K and Fe and deficient in P and Cu. The annual harvest improves the quality of primary and secondary cladodes in Quixadá and of secondary and tertiary cladodes in Tejuçuoca. The annual harvest also improves the quality of cactus pear plant in Quixadá. In Tejuçuoca, the harvesting frequency has less influence on the quality of cactus pear plant and biennial harvest promoted a higher digestion rate. In Tejuçuoca, content of Mg, Cu and Mn were lower under conditions of annual harvest, but, the content of S was lower in both locations in this same harvesting frequency.

**Keywords:** Fertilization. Harvest frequency. *Opuntia ficus-indica*. Cladode order. Digestion rate.

## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A palma forrageira é uma das principais forragens utilizadas na região Nordeste do Brasil, principalmente na época seca, quando a produtividade de forragem é limitada pela reduzida disponibilidade hídrica. Nesse sentido, essa planta pode contribuir para fornecer forragem em quantidade e com qualidade na época seca. No entanto, é necessário identificar práticas de manejo capazes de manter a produtividade e a qualidade ao longo dos anos.

Nos últimos anos, a palma forrageira vem sendo cultivada em larga escala e de forma mais intensiva. A adoção da adubação, por exemplo, contribui de forma positiva para a longevidade de campos cultivados com palma, uma vez que a palma forrageira extrai elevadas quantidades de nutrientes do solo. Dessa forma, solos deficientes em N e P, como a maioria dos solos da região semiárida brasileira, devem receber atenção especial quando da adubação nitrogenada e fosfatada.

A adubação tem grande influência sobre a qualidade da palma forrageira. A adubação nitrogenada geralmente aumenta o teor de proteína bruta da palma forrageira, podendo ser observado aumento igual ou superior a 100%. Dessa forma, o teor de proteína bruta da palma, que constitui um dos principais fatores limitantes de seu uso na dieta de ruminantes, saiu de uma média de 40 g kg<sup>-1</sup> de MS para teores acima de 70 g kg<sup>-1</sup> de MS, o suficiente para manter o crescimento microbiano e, portanto, uma adequada fermentação ruminal.

A adubação fosfatada, embora apresente maior influência sobre o desenvolvimento da planta, principalmente em solos pobres nesse nutriente, parece que atua de forma sinérgica com a adubação nitrogenada, potencializando a absorção de nitrogênio pelas raízes e a síntese protéica na parte aérea da planta. O efeito da interação nitrogênio-fósforo sobre a qualidade da palma forrageira ainda é pouco explorado. O teor de fósforo da palma forrageira pode aumentar, diminuir ou não alterar com a adubação fosfatada, uma das causas dessa variação é o teor de fósforo presente no solo.

De forma semelhante, o manejo da colheita também pode influenciar a qualidade da palma forrageira. No entanto, no Brasil, poucos estudos têm se voltado para esse objetivo. A prática mais tradicional de corte da palma forrageira é de dois anos, mas com o advento do cultivo mais intensivo vem sendo constatado corte com doze meses e até com seis meses após o plantio. Maior frequência de corte pode resultar na colheita de um material mais tenro, com maior teor de proteína bruta e mineral e menor teor de matéria seca, fibra e matéria orgânica.

Outro aspecto relevante é que a qualidade da palma forrageira varia em função da ordem de cladódio, que são caules suculentos com ausência de folhas. Os cladódios podem

ser classificados em primários, secundários, terciários, quaternários, etc. A dinâmica de acúmulo de nutrientes varia significativamente entre as ordens de cladódios. À medida que a planta cresce, novos cladódios vão surgindo. Cladódios mais jovens localizam-se mais no topo da planta de palma e são caracterizados por serem mais ricos em água, cinzas e proteína bruta e mais pobres em fibra. Por outro lado, cladódios localizados mais na base, por exemplo, primários e secundários, possuem função estrutural, portanto, são mais ricos em fibra e matéria seca e pobres em proteína bruta. Essa dinâmica de acúmulo de nutrientes por ordem de cladódios pode variar em função da adubação, frequência de colheita, características edafoclimáticas do local, etc.

A diferença de concentração de nutrientes entre cladódios da palma forrageira levou alguns pesquisadores a recomendarem a mistura de cladódios para um melhor atendimento dos requerimentos nutricionais dos animais. Assim, a mistura de cladódios é a forma predominante de fornecimento da palma forrageira a animais ruminantes. A facilidade de manejo também estimula a adoção dessa prática. No entanto, a mistura de cladódios pode diluir a concentração de nutrientes da palma forrageira. A possibilidade de separação das ordens de cladódios pode racionalizar o uso da palma a nível nutricional e aumentar seu nível de inclusão na dieta de ruminantes. Por exemplo, cladódios terciários, quaternários, etc, dependendo da época de colheita, podem apresentar teores de proteína bruta da ordem de 100 g kg<sup>-1</sup> de MS. Da mesma forma, cladódios mais da base, que são mais fibrosos, podem ser explorados, objetivando um melhor balanceamento entre carboidratos fibrosos e não-fibrosos.

Pode ser observado que o principal avanço na qualidade da palma forrageira foi o aumento do teor protéico, principalmente com o uso da adubação nitrogenada. Porém, os efeitos sobre o teor de fibra, teores de macro e microminerais e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca ainda são pouco explorados.

Uma maior abrangência de estudos avaliando os efeitos das práticas de manejo sobre a qualidade da palma forrageira pode contribuir para otimizar o uso de dietas à base de palma. A palma forrageira é um alimento rico em água, cinzas e carboidratos, principalmente carboidratos não-fibrosos, e pobre em proteína e fibra em detergente neutro. Tais características, se não forem adequadamente equacionadas, podem causar distúrbios digestivos em animais ruminantes. O conhecimento dessas limitações permitiu os ajustes necessários e resultou mais recentemente numa maior participação da palma na dieta de ruminantes, podendo ser observada a inclusão de até 60% na matéria seca da dieta total.

O entendimento de como a qualidade da palma forrageira é afetada pela adubação nitrogenada e fosfatada pela frequência de colheita podem ajudar no estabelecimento de

manejo que contribua para uma maior participação da palma forrageira na dieta de ruminantes, ou que permita maior utilização na dieta de animais de alta produção.

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da adubação nitrogenada|fosfatada e da frequência de colheita sobre: 1) a composição química de cladódios da palma forrageira cv. Gigante; 2) a composição química, mineral e cinética de degradação *in vitro* da planta de palma forrageira cv. Gigante.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Fatores que afetam a qualidade da forragem

A qualidade da forragem influencia a produtividade do animal e é considerado um processo complexo, porque envolve aspectos relacionados com a planta e com o animal. De modo geral, está relacionada com o teor de fibra e com o grau de lignificação da parede celular (VAN SOEST, 1994). Normalmente, o que se observa é que forragens de baixa qualidade apresentam alto teor de fibra e lignina e baixa digestibilidade e teor de proteína bruta em sua composição (ABBASI et al., 2012).

A idade da planta, a espécie, o ambiente são fatores que determinam a qualidade da forragem. O ambiente dita o grau de maturação da forragem, fenômeno onde os fotoassimilados são direcionados para a síntese de componentes estruturais (VAN SOEST, 1994). Forragens maduras são ricas em fibra em detergente neutro (FDN) e lignina e em gramíneas é observada baixa relação folha:colmo (WARAMIT et al., 2012).

Os fatores ambientais que mais influenciam a qualidade da forragem são: temperatura, déficit hídrico, radiação solar, solo e disponibilidade de nutrientes no solo (VAN SOEST, 1994). O entendimento de como esses fatores influenciam a qualidade da forragem pode contribuir para a colheita de um material de mais alto valor nutritivo, podendo viabilizar a criação de animais de alto potencial genético.

Altas temperaturas, por exemplo, aumentam os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e lignina da forragem, déficit hídrico pouco severo pode melhorar a digestibilidade da forragem. Por outro lado, quando severo, aumenta a senescência de folhas e a translocação de nutrientes da folha para a raiz, reduzindo a qualidade da forragem (BUXTON, 1996). Barreto et al. (2001) observaram que um estresse hídrico de 36 dias melhorou a qualidade nutricional da forragem, com aumento do teor de matéria seca, aumento médio de 15,61 para 71,15%, para tratamento irrigado e não irrigado, respectivamente, e aumento de 21,7% no teor

de proteína bruta, não sendo observado efeito do estresse hídrico sobre FDN e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). O atraso no processo de maturidade das plantas, segundo os autores, foi o principal responsável pelos efeitos observados.

Avaliando diferentes espécies de gramíneas, Waramit et al. (2012) observaram que a época de colheita foi o fator que mais afetou a qualidade da forragem. Sarwar et al. (1999) observaram que a fertilização do solo com N aumentou o teor de proteína bruta da forragem, mas não foi suficiente para reverter o efeito da maturidade sobre a qualidade nutritiva.

A adubação é uma prática comumente utilizada para melhorar a qualidade da forragem. Geralmente, a adubação nitrogenada aumenta o teor de proteína bruta da forragem (ABBASI et al., 2012; BUXTON, 1996), porém, em algumas ocasiões pode haver redução por diluição, já que a adubação nitrogenada favorece uma maior produção de biomassa (PEYRAUD e ASTIGARRAGA, 1998). Souza et al. (2005) observaram que o aumento da dose de nitrogênio aplicada ao solo até 100 kg ha<sup>-1</sup> promoveu um aumento de 19,72% (6,06 t ha<sup>-1</sup>) na massa de forragem total de *Panicum maximum*.

O efeito da adubação nitrogenada sobre o teor de FDN e a digestibilidade da forragem é inconsistente, ambos podem variar com a espécie e com a época de colheita e a digestibilidade pode aumentar, em resposta a uma maior produção de tecidos jovens, mais tenros, ou reduzir, em resposta a uma maior taxa de senescência e desenvolvimento do colmo. (RONQUILLO et al., 1998; WARAMIT et al., 2012).

Algumas evidências têm demonstrado que a adubação fosfatada apresenta menor influencia sobre a qualidade da forragem, no entanto, seu efeito é mais expressivo sobre a produção de biomassa de forragem (CECATO et al., 2004). Oliveira et al. (2000) observaram aumento de mais de 100% na produção de biomassa de forragem com dosagens crescentes de fósforo (0, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup>), variando de 0,93 t ha<sup>-1</sup>, para a menor dose, a 6,67 t ha<sup>-1</sup>, para a maior dose. Nessa pesquisa o teor de FDN aumentou e o de proteína bruta diminuiu em resposta ao crescimento acelerado, atingindo a maturidade mais rápido.

A adubação nitrogenada pode favorecer o acúmulo de fósforo na parte aérea da planta (ABBASI et al., 2012; HERNÁNDEZ e CÁRDENAS, 1990), enquanto a adubação fosfatada pode reduzir (OLIVEIRA et al., 2000), causar efeito quadrático (CECATO et al., 2004) ou efeito linear positivo (GOMIDE et al., 1986) sobre o teor de fósforo na forragem.

Nesse contexto, o menor impacto da adubação fosfatada sobre a qualidade da forragem pode ser compensado pela adubação nitrogenada via incremento do teor proteico. Portanto, a associação entre adubação nitrogenada e fosfatada pode contribuir para manter uma pastagem produtiva e com alta qualidade. Avaliando palma forrageira (*Opuntia lindheimeri* Engelm.),

González (1989) observou que a associação entre adubação fosfatada e nitrogenada favoreceu o acúmulo de PB na parte aérea, sendo verificado aumento de 4,5 para 10,5% de PB.

## 2.2 Qualidade da palma forrageira

A palma forrageira é uma cactácea resistente ao déficit hídrico e, por isso, muito explorada em regiões áridas e semiáridas do mundo. No Brasil, com ênfase na região Nordeste, onde predomina o clima semiárido, essa planta apresenta-se como uma alternativa para disponibilizar forragem na época seca do ano, quando há escassez de forragem (ANDRADE et al., 2006; ANDRADE et al., 2010; SANTANA et al. 2011).

A principal vantagem ecofisiológica da palma forrageira sobre plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> quando cultivadas em regiões áridas e semiáridas é sua abertura estomática durante a noite, o que resulta em maior eficiência de uso da água (EUA), cerca de 100 a 200 kg de água para cada kg de matéria seca formada, contra 1000 e 500 kg de água usados pelas plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, respectivamente, além da baixa frequência estomatal, cutícula espessa e reserva de água nos cladódios, características que mantêm uma alta produção de biomassa da palma forrageira quando em condições de estresse hídrico (NOBEL, 2001b; SAMPAIO, 2005).

O maior armazenamento de água na palma forrageira reduz consideravelmente seu teor de matéria seca, o que pode comprometer o atendimento das necessidades nutricionais dos animais, no entanto, contribui para amenizar a necessidade por água, recurso limitado em regiões áridas e semiáridas. Tegegne et al. (2007) observaram em ovinos que o consumo de água reduziu de 1226 mL dia<sup>-1</sup>, com 0% de palma, para 6 mL dia<sup>-1</sup>, quando 70% de palma foi incluído na matéria seca da dieta. Santos et al. (2005) reportaram variação do teor de água na palma em função da época do ano, podendo apresentar valores entre 76% (24% de MS) na época seca e 95% (5% de matéria seca) na época chuvosa, demonstrando que o teor de água na palma é fortemente influenciado pelas condições edafoclimáticas.

Além do alto teor de água, a palma forrageira mostra-se rica em minerais. O teor médio de cinzas da palma forrageira é de 116 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS), apresentando alto teor de cálcio, cerca de 36 g kg<sup>-1</sup> de MS, e baixo de fósforo, cerca de 0,32 g kg<sup>-1</sup> de MS, o que resulta em relação Ca:P extremamente alta (SANTOS et al., 2005). A concentração de magnésio (13 g kg<sup>-1</sup> de MS) é relativamente elevada na palma forrageira e entre os microminerais observam-se teores mais expressivos de ferro (66 mg kg<sup>-1</sup> de MS), zinco (22 mg kg<sup>-1</sup> de MS) e manganês (86 mg kg<sup>-1</sup> de MS) (BATISTA et al., 2003b).

A palma forrageira também é rica em carboidratos: carboidratos totais compreendem cerca de 770 g kg<sup>-1</sup> de MS, com maior participação dos carboidratos não-fibrosos,

aproximadamente 500 g kg<sup>-1</sup> de MS, com 290 g kg<sup>-1</sup> de MS de fibra solúvel em detergente neutro e 140 g kg<sup>-1</sup> de MS de amido (BATISTA et al., 2003a; BATISTA et al., 2003b). Esses resultados demonstram a necessidade de equacionar a relação Ca:P e de carboidratos fibrosos (CF):carboidratos não-fibrosos (CNF) em dietas a base de palma forrageira para ruminantes.

Comparando o teor de carboidratos da palma prontamente disponíveis no rúmen com outros alimentos, observam-se valores intermediários ao milho (CNF = 720 g kg<sup>-1</sup> de MS) e ao de volumosos, como as silagens de milho (CNF = 270 g kg<sup>-1</sup> de MS) e sorgo (CNF = 190 g kg<sup>-1</sup> de MS). A FSDN da palma forrageira apresenta-se maior que a da alfafa (230 g kg<sup>-1</sup> de MS) e a da casca de soja (200 g kg<sup>-1</sup> de MS), mas menor que a da polpa de beterraba (340 g kg<sup>-1</sup> de MS) e a da polpa cítrica (350 g kg<sup>-1</sup> de MS) (HALL et al., 1997). A FSDN inclui pectina, frutanas e β-glucanas (HALL et al., 1997). Têm sido reportados valores de pectina na palma forrageira da ordem de 230 g kg<sup>-1</sup> de MS (MELO et al., 2003a). A FSDN presente na palma tem importância nutricional para ruminantes, porque durante o processo de fermentação é produzido menos ácido lático (VAN SOEST, 1994).

Os teores de proteína (PB) e de fibra em detergente neutro (FDN) da palma forrageira são considerados baixos. Valores tão baixos quanto 200 g kg<sup>-1</sup> de MS (PEREIRA et al., 2010) e 38 g kg<sup>-1</sup> de MS (VIEIRA et al., 2008) para FDN e PB, respectivamente, podem ser observados. Uma média do teor de FDN e de PB observada na literatura foi de 296 g kg<sup>-1</sup> de MS (± 49 g kg<sup>-1</sup> de MS) e 73,72 g kg<sup>-1</sup> de MS (± 25 g kg<sup>-1</sup> de MS), respectivamente (GEBREMARIAM et al., 2006; TEGEGNE et al., 2007; TOSTO et al., 2007; DONATO, 2011; SILVA et al., 2013). A variação observada para os tores de FDN e PB é resultado do método de determinação da FDN e da adubação nitrogenada, respectivamente.

Os menores teores de FDN e maiores de CNF da palma forrageira estão relacionados com alta degradação ruminal, alta taxa de degradação e menor tempo de colonização pelos microrganismos (TEIXEIRA et al., 1999; BATISTA et al., 2003a; MUNIZ et al., 2011). O menor teor de lignina (13 g kg<sup>-1</sup> de MS) está relacionado com um maior aproveitamento da fração FDN da palma forrageira, o que resulta em alta taxa de degradação (6,5 % h<sup>-1</sup>) e menor tempo de colonização (0,1 h) da FDN (BATISTA et al., 2009). A fermentação ruminal da palma forrageira pela técnica de produção de gás também tem demonstrado alta disponibilidade ruminal, com altos valores de produção potencial de gás (210 mL g<sup>-1</sup> de MS) e taxa de produção de gás (7% h<sup>-1</sup>) (BATISTA et al., 2003b).

A palma também é um alimento de alta palatabilidade, o que contribui para um consumo bastante elevado pelos animais, podendo ser observado, em bovinos, quantidade acima de 100 kg de palma *in natura* dia<sup>-1</sup> (SANTOS et al., 2005). Com um aumento no consumo de palma é observado aumento do consumo de água devido ao seu alto teor de

umidade e isso tem sido relacionado a uma redução no consumo de matéria seca pelos animais (GEBREMARIAM et al., 2006). No entanto, Wanderley et al. (2002) não observaram efeito de níveis crescentes de palma em substituição a silagem de sorgo na dieta de vacas leiteiras sobre o consumo de matéria seca, com variação de umidade de 57 a 75% para dietas contendo 0 a 36% de palma. Essas diferenças podem estar relacionadas à forma de fornecimento da dieta, uma vez que, no primeiro estudo, a palma foi fornecida separadamente do volumoso, enquanto no segundo, foi oferecida na forma de mistura completa.

A composição química e a digestibilidade da palma forrageira podem variar em função de fatores como a idade da planta e do artigo (cladódio), nível de fertilidade do solo, espaçamento e época do ano (SANTOS et al., 2005). Portanto, existe a possibilidade de explorar alguns fatores de manejo, no sentido de colher um material de melhor qualidade e com isso otimizar seu uso na dieta de ruminantes.

### **2.3 Efeito da frequência de colheita sobre a qualidade da palma forrageira**

Normalmente, a colheita da palma forrageira é feita a cada dois anos, mas pode variar em função das condições climáticas, do espaçamento, da adubação, da densidade de plantio e da intensidade de colheita. Avaliando espaçamento de plantio, frequência de colheita e intensidade de corte, Farias et al. (2000) observaram que, para manter a produtividade da palma forrageira ao longo de sucessivas colheitas, é necessário preservar os cladódios secundários, quando a colheita é feita a cada dois anos, e preservar os cladódios primários, quando a colheita é feita a cada quatro anos. Nesse estudo, os teores de matéria seca, proteína bruta e fibra foram pouco influenciados pelos fatores avaliados, ou seja, a colheita pode ser feita a cada dois ou quatro anos sem uma perda significativa da qualidade da palma forrageira.

Por outro lado, estudos avaliando a qualidade nutricional de cladódios de palma forrageira têm demonstrado diminuição do valor nutritivo com o aumento da maturidade do cladódio (PINOS-RODRIGUÉZ et al., 2010; TEGEGNE, 2001), condição observada em menor frequência de colheita. O estágio de maturação afeta a qualidade da forragem, sendo determinado pelos fatores ambientais que ditam a intensidade de maturação da forragem (BUXTON, 1996). Na maioria dos casos, forragens mais maduras apresentam alto teor de carboidratos da parede celular, aumento da lignificação e baixo teor de proteína bruta, o que pode resultar em menor consumo e digestibilidade (VAN SOEST, 1994).

Avaliando os efeitos de maturação sobre a composição nutricional de cladódios de palma forrageira, Pinos-Rodríguez et al. (2010) demonstraram ser possível colher um material

de alta qualidade, com alta frequência de colheita, em condições de cultivo intensivo, com irrigação por gotejamento, adubada com 90 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com 125.000 plantas/ha. Com o aumento da idade dos cladódios, condição obtida com menor frequência de colheita, houve efeito linear crescente sobre as frações FDN e fibra em detergente ácido (FDA) e efeito linear decrescente sobre as frações PB e nitrato, as quais apresentaram variações de 288 a 319, 154 a 217, 180 a 104 e 2,4 a 1,3 g kg<sup>-1</sup> de MS nas idades de 30 a 90 dias, respectivamente.

#### 2.4 Efeito da fertilização do solo sobre a qualidade da palma forrageira

O uso de fertilizantes no cultivo da palma forrageira é uma prática que contribui para melhorar a produtividade. Isso ocorre em resposta a uma alta extração de nutrientes do solo pela palma forrageira. Considerando uma produtividade de 20 t de MS de palma ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ocorre uma extração de 180; 32; 516 e 470 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K e Ca, admitindo-se teores de 0,9; 0,16; 2,58 e 2,35% de N, P, K e Ca, respectivamente (SANTOS et al., 2002).

Outro aspecto positivo da adubação da palma forrageira é o aumento do teor de proteína bruta. A palma forrageira contém em média 1% de nitrogênio na matéria seca, ou seja, 6,25% de proteína bruta, quando cultivada em solos pobres nesse nutriente (NOBEL, 2001a), valores mais baixos, da ordem de 36 g kg<sup>-1</sup> de MS, podem ser observados (SANTOS et al., 2005). No entanto, vários estudos têm demonstrado relação direta e positiva do teor de nitrogênio aplicado ao solo e seu acúmulo na parte aérea da palma forrageira. Por exemplo, o teor de nitrogênio da palma forrageira Clone-20 aumentou de 7 para 13 g kg<sup>-1</sup> de MS com a adição ao solo de 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (DUBEUX Jr. et al., 2006). Do mesmo modo, González (1989) observou aumento de 45 g kg<sup>-1</sup> de MS para 105 g kg<sup>-1</sup> de MS de PB da palma (*Opuntia lindheimeri* Engelm.) sob adubação nitrogenada e fosfatada.

A adição combinada de adubação fosfatada e nitrogenada ao solo pode favorecer a absorção de nitrogênio, principalmente quando o teor de água no solo não for limitante. Esse tipo de interação ocorre devido às formas absorvíveis de nitrogênio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e fósforo (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) terem íons de sinais contrários e, portanto, serem absorvidas juntas (PRADO, 2008). Silva et al. (2013) observaram que o uso isolado de adubação fosfatada (150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>; 74 g PB kg<sup>-1</sup>) não incrementou o teor de proteína bruta da palma forrageira cv Gigante numa densidade de 20.000 plantas ha<sup>-1</sup>, não diferindo do tratamento sem adubação (67,80 g PB kg<sup>-1</sup>), mas houve aumento significativo com a adição de adubação nitrogenada N|P (200 kg N ha<sup>-1</sup> e 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>; 124,40 g N kg<sup>-1</sup> de MS) e N|P|K (200 kg N ha<sup>-1</sup>, 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 100 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>; 123,5 g N kg<sup>-1</sup> de MS), constatando que a combinação fósforo e nitrogênio favoreceu o acúmulo de ambos na parte aérea da palma forrageira. Nesse

contexto, tanto o fósforo quanto o nitrogênio são importantes para o acúmulo de matéria seca da forragem. A produção de matéria seca do *Panicum maximum* cv. Tanzânia respondeu de forma linear à adubação fosfatada, sendo observado aumento de mais de 100% (OLIVEIRA et al., 2000). Em palma, a adubação fosfatada aumentou a produtividade somente quando o nível de P no solo foi menor que  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  (DUBEUX Jr. et al., 2006).

A adubação estimula o crescimento da palma forrageira e, conseqüentemente, o surgimento de cladódios (SILVA et al., 2013). Cladódios jovens são mais tenros e, por isso, são menos fibrosos e mais ricos em proteína. O teor de matéria orgânica reduz com o decréscimo do teor de fibra nos tecidos da palma forrageira. Donato et al. (2014) observaram que os carboidratos totais ( $753$  para  $715 \text{ g kg}^{-1}$  nas doses de  $0$  a  $90 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e hemicelulose ( $139$  para  $106 \text{ g kg}^{-1}$  nas doses de  $0$  a  $90 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) diminuíram em resposta a doses crescentes de esterco bovino.

O aumento dos níveis de adubação nitrogenada pode reduzir os teores de açúcares solúveis, porque uma maior parte da cadeia de carbono será mobilizada para síntese de aminoácidos e proteínas (VAN SOEST, 1994; PEYRAUD e ASTIGARRAGA, 1998). Uma redução do teor de proteína bruta da forragem de  $10 \text{ g kg}^{-1}$  de MS pode proporcionar um aumento de  $10 \text{ g kg}^{-1}$  de MS de carboidratos solúveis (REID e STRACHAN, 1974).

O teor de macrominerais na palma pode variar em função do tipo e da quantidade de adubo aplicado ao solo. O teor de nitrogênio, por exemplo, além da adubação nitrogenada, responde de forma positiva à aplicação de enxofre no solo (TELES et al., 2004). Isso ocorre porque o enxofre participa da formação dos aminoácidos. O teor de cálcio na palma forrageira responde de forma negativa às adubações potássica e nitrogenada-potássica (DUBEUX Jr. et al., 2010; SILVA et al., 2012). Essas reduções podem estar relacionadas com a competição por sítio de absorção entre nitrogênio, aplicado na forma de  $\text{N-NH}_4^+$ , potássio, na forma  $\text{K}^+$ , e cálcio, na forma  $\text{Ca}^{2+}$ , o que reduz a absorção de cálcio (MALAVOLTA, 2006). Por outro lado, Teles et al. (2004) não observaram efeito da aplicação de cálcio no solo sobre as concentrações desse nutriente na parte aérea da palma forrageira. A relação Ca:P na palma forrageira é alto, podendo ser observados valores tão altos quanto 47:1 (SANTOS et al., 2005). No entanto, Teles et al. (2004) demonstraram que a adubação fosfatada diminuiu a relação Ca:P de 15:1 para 8,5:1. O teor de microminerais na palma é menos sensível à adubação. Silva et al. (2012) observaram maiores teores de Mn em palma adubada com  $\text{N|P}_2\text{O}_5|\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{N|P}_2\text{O}_5$ .

## **2.5 Efeito da ordem de cladódio sobre a qualidade da palma forrageira**

A ordem de cladódio influencia a qualidade da palma forrageira. Cladódios de segunda ordem apresentam maior teor de matéria seca e fibra em relação a cladódios de terceira ordem em diante. Essa diferença na qualidade de uma planta de palma levou à recomendação de misturar as diferentes ordens de cladódios, objetivando atender melhor às necessidades nutricionais dos animais (SANTOS et al., 2005).

Existe aumento dos teores de proteína, matéria mineral, carboidratos não-fibrosos e maior degradação ruminal; e redução dos teores de matéria orgânica, FDN, FDA e de carboidratos totais quando os cladódios são mais jovens, ou seja, de 3º e 4º ordem (TEIXEIRA et al., 1999). O menor teor de fibra em cladódios mais jovens resulta em efeito de concentração do teor de cinzas, devido ao menor acúmulo de matéria orgânica. Avaliando o teor de minerais em cladódios primários e terciários, Teles et al. (2004) observaram maior teor de nitrogênio, fósforo e enxofre em cladódios mais jovens (terciários).

Cladódio de maior ordem, mais jovens, atuam como dreno em crescimento (PIMIENTA-BARRIOS et al., 2005), portanto, utilizam os açúcares para respiração e síntese de outras moléculas (TAIZ e ZEIGER, 2006). Esse comportamento explica o menor teor de carboidratos em cladódios quaternários que em terciários (RIBEIRO et al., 2010).

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Localização e caracterização da área experimental**

Foram realizados dois experimentos durante o período de janeiro de 2011 a março de 2013, sendo um desenvolvido na fazenda Lavoura Seca, no Município de Quixadá, e outro na Fazenda Quilombo, no Município de Tejuçuoca, ambos localizados no estado do Ceará, Brasil. A Fazenda Lavoura Seca está localizada a 4º 58' de latitude sul e 39º 01' de longitude oeste, a 190 m de altitude. O município de Tejuçuoca está localizado a 3º 59' 11'' de latitude sul e 39º 34' 18'' de longitude oeste, com altitude média de 140 m. O clima foi classificado como BSw'h', semiárido quente, e Aw, tropical com estação seca, em Quixadá e Tejuçuoca, respectivamente, segundo classificação de Koppen (1948).

A precipitação, temperatura e umidade relativas médias verificadas em 2011 e 2012 foram de 1042 e 602 mm; 27 e 26,9 °C; 61,3 e 56,3% em Quixadá e de 1038 e 561 mm; 26 e 26,8 °C; 67,2 e 63,8% em Tejuçuoca, respectivamente.

As características químicas dos solos na profundidade de 0,0 a 20,0 cm foram: pH = 6,1 e 6,2; P = 5 e 6 mg dm<sup>-3</sup>; K = 260 e 243 mg dm<sup>-3</sup>; Ca + Mg = 6,80 e 7,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>, Ca = 3,40 e 4,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>, Mg = 3,40 e 3,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>, Al = ausente, Na = 20 e 7 mg dm<sup>-3</sup>, Matéria orgânica = 5,28 e 8,17 para Quixadá e Tejuçuoca, respectivamente. O solo foi classificado como arenoso e franco arenoso em Quixadá e Tejuçuoca, respectivamente.

### 3.2 Espécie forrageira e instalação do experimento

A espécie de palma forrageira utilizada no experimento foi a *Opuntia ficus indica* cv. Gigante, adquirida no Município de Madalena, Ceará, Brasil.

O plantio foi realizado em 2011, antes do início do período chuvoso, sendo os cladódios disponibilizados no sulco a 30 cm de profundidade, na posição vertical, com a parte cortada voltada para o solo e cobertura de 2/3 do cladódio. O espaçamento utilizado foi de 2,0 m (entre linha) x 0,10 m (entre plantas), totalizando uma densidade de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

### 3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos constaram de nove combinações de nitrogênio e fósforo definidas a partir da matriz experimental *Plan Puebla II*, desenvolvida por Turrent Fernández e Laird (1975), correspondendo à expressão:  $2^k + 2k + 1$ , em que “k” é o número de fatores envolvidos. Assim, foram estabelecidas cinco doses de N (10; 70; 100; 130 e 190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e cinco doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (10; 70; 100; 130 e 190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), tomando-se como base a dose 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para ambos, N e P. Utilizou-se como fonte de nitrogênio a ureia (45% de N) e como fósforo o superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Foi adotado um delineamento em blocos casualizados, em arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As combinações de N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foram alocadas nas parcelas e as frequências de colheita (anual e bianual) nas subparcelas, totalizando 72 unidades experimentais em cada localidade. Cada parcela continha três fileiras de palma, com 4,0 m de comprimento e largura de 6 m, totalizando 24 m<sup>2</sup> e 120 plantas por parcela.

As adubações foram realizadas no período chuvoso, sendo o superfosfato simples disponibilizado em apenas uma aplicação e a uréia fracionada em três parcelas, com intervalos de 20 dias entre as aplicações. As diferentes doses de uréia foram diluídas em água, utilizando um recipiente plástico com capacidade para compor um litro de solução, a qual foi

distribuída uniformemente na linha de 4 m, totalizando três litros por parcela (Figura 1). Esse procedimento foi necessário para viabilizar a aplicação das menores doses de ureia.

A fonte de micronutrientes foi FTE-BR 12 (0,1% Mo; 0,8% Cu; 1,8% B; 2,0% Mn; 3,0% Fe e 9,0% Zn) aplicado na dose  $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e o balanceamento de cálcio e enxofre foi realizado usando gesso agrícola e calcário calcítico, com base na dose máxima de superfosfato simples, todos disponibilizados em apenas uma aplicação, juntamente com o superfosfato simples.



Figura 1. Procedimento de diluição da ureia. a) Colocação da ureia no frasco. b) Inclusão de água até a medida de 1 L

### 3.4 Colheita de amostras de palma

Na época da colheita, aos 365 e aos 730 dias após o plantio (DAP), referentes às frequências de colheita anual e bianual, respectivamente, coletaram-se amostras dos cladódios e da planta. Na amostragem dos cladódios foram escolhidas uma ou duas plantas da linha central, objetivando-se evitar as bordaduras. Posteriormente, os cladódios foram identificados numericamente de acordo com a sua respectiva ordem, ou seja, 1 (primários); 2 (secundários) e 3 (terciários). O número de cladódios variou em função dos tratamentos e das localidades, portanto, padronizaram-se as ordens primárias e secundárias em Quixadá e as ordens primárias, secundárias e terciárias em Tejuçuoca. Após a coleta dos cladódios, procedeu-se o corte de uniformização, preservando-se os cladódios primários. Depois, coletou-se uma mistura de cladódios a partir da ordem secundária, representando a amostra da planta. Geralmente, no cultivo da palma, a colheita é realizada preservando a ordem primária, portanto, a amostra da planta no presente estudo simula essa prática.

Os cortes foram realizados com o auxílio de facas e facões. O material coletado foi picado em tamanho de partícula de aproximadamente 1 a 3 cm. Posteriormente, foram pesados, onde padronizou-se 1 kg de matéria verde, colocados em sacos plásticos

devidamente identificados e congelados para futuras análises laboratoriais. As amostras de cladódios foram submetidas à análise química, enquanto as amostras da planta foram submetidas às análises química, mineral e de degradação *in vitro* da matéria seca.

### 3.5 Análises química e mineral

As amostras de palma foram conduzidas ao Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFC – LANA/DZ/UFC, onde foram descongeladas por um período aproximado de cinco horas em temperatura ambiente, colocadas em bandejas de alumínio previamente pesadas (tara) para obtenção do peso da tara+amostra fresca. Posteriormente, foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C até atingir peso constante, trituradas em moinho estacionário “Thomas Wiley”, utilizando-se peneira com malha de 1,0 mm e, após, acondicionadas em potes hermeticamente fechados para posteriores análises laboratoriais.

Os teores de matéria seca (MS, método ID 930.15) e proteína bruta (PB, método ID 984.13) foram determinados segundo os procedimentos descritos em AOAC (1990). O teor de matéria orgânica (MO) foi calculado subtraindo o teor de cinzas (CZ, método ID 924.05) de 100. O teor de fibra em detergente neutro (FDN) foi determinado usando o método descrito por Van Soest e Robertson (1985). Para a análise da FDN, as amostras não foram tratadas com amilase e nem corrigidas para cinzas e proteína. O teor de carboidratos foi estimado como proposto por Sniffen et al. (1992), onde: carboidratos totais (CHT) =  $100 - (\%PB + \%EE + \%CZ)$ .

Para determinação dos minerais, as amostras pré-secas da planta de palma forrageira foram submetidas à digestão nítrico-perclórica (AOAC, 1990). O teor de fósforo(P) foi determinado por espectrofotometria; o enxofre (S) por turbidimetria; o potássio (K) por fotometria de chama; os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu) foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1990).

### 3.6 Degradação *in vitro* da matéria seca

Os parâmetros da cinética de degradação *in vitro* da matéria seca da amostra da planta de palma forrageira foram estimados pela técnica de produção cumulativa de gases, conforme descrito por PELL e SCHOFIELD (1993) com adaptações a seguir descritas.

As incubações foram realizadas em frascos de vidro com capacidade de 150 mL, onde foram pesados aproximadamente 500 mg de substrato. Aos frascos foram adicionados 40 mL

de tampão de McDougal (McDOUGAL, 1949) previamente reduzida com CO<sub>2</sub> (pH 6,9-7,0) e 10 mL de inoculo, proveniente de um bovino fistulado no rúmen, filtrado em camada dupla de gaze, sob aspersão de CO<sub>2</sub>. Imediatamente após, os frascos receberam tampa de borracha e lacre de alumínio e permaneceram em sala climatizada mantida a 39 °C. As amostras foram incubadas em duplicata. Frascos contendo apenas líquido ruminal e solução tampão foram incluídos como brancos para corrigir o desaparecimento da matéria orgânica e a produção de gás e ácidos graxos de cadeia curta. O volume dos gases produzidos pela fermentação do substrato e acumulados nos frascos foi mensurado utilizando seringa graduada nos tempos de 1, 2, 3, 6, 12, 15, 18, 22, 26, 30, 34, 40, 48, 60, 72, 96 e 120 horas após incubação.

Os parâmetros da cinética de degradação *in vitro* foram estimados a partir da produção cumulativa de gases utilizando o procedimento NLIN do SAS (Statistical Analyses System, Cary, USA), de acordo com o modelo descrito em France et al. (2000):  $G = A [1 - \exp^{-c(t-L)}]$ , onde: G (mL) - volume acumulado de gases no tempo t; A (mL) - máxima produção de gases; c (% h<sup>-1</sup>) - taxa de acúmulo de gases; e L (horas) é o tempo de colonização microbiana.

### 3.7 Análise estatística

O efeito da adubação foi determinado por regressão linear simples ou múltipla, adotando como critério para escolha do modelo a significância do coeficiente de regressão pelo teste F, ao nível de 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade. As doses de nitrogênio (N) e fósforo (P) foram consideradas como variáveis independentes. As equações de regressão foram desenvolvidas para ordem de cladódio (primário, secundário e/ou terciário) e para planta de palma forrageira, sendo ambas associadas a duas frequências de colheitas (anual e bianual) e a duas localidades (Quixadá e Tejuçuoca). As equações de regressão foram usadas para estimar os teores de MST, PB, FDN, MO, CHT, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Cu, além dos parâmetros de cinética fermentativa: A, c e L. Como ferramenta de auxílio às análises, foi utilizado o software Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG 9.1, 2007).

Para verificar o efeito da frequência de colheita sobre a composição química, mineral e os parâmetros cinéticos fermentativos, analisou-se a resposta dentro da ordem de cladódio e da planta de palma forrageira, sendo associados a duas localidades (Quixadá e Tejuçuoca). As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Como ferramenta de auxílio às análises estatísticas, adotou-se o procedimento GLM, do programa SAS (SAS INSTITUTE, 2003).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Composição química da palma forrageira

#### 4.1.1 Ordem de cladódio

O teor de matéria seca total (MST) de cladódios primários na colheita bianual em Quixadá (Tabela 1) reduziu-se de forma quadrática em resposta às doses de P, sendo verificada variação de 167,37, na dose 137,09 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$   $ano^{-1}$ , a 239,42 g  $kg^{-1}$  de MN, na dose 10 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$   $ano^{-1}$ . De forma semelhante, as doses de P influenciaram negativamente o teor de MST de cladódios primários na colheita anual em Tejuçuoca (Tabela 2), com efeito linear negativo das doses de P, quadrático negativo das doses de N e interação positiva de N e P, com teor máximo verificado na combinação N| $P_2O_5$  de 10|10 (121,73 g  $kg^{-1}$  de MN) e mínimo na combinação 10|190 kg  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (65,01 g  $kg^{-1}$  de MN).

As adubações, de modo geral, podem influenciar o teor de MST de cladódios de palma forrageira porque favorecem o crescimento, o que aumenta o surgimento de novos cladódios (SILVA et al., 2013), que são caracterizados por serem mais ricos em água, além de aumentar a eficiência de utilização da água da chuva (DUBEUX Jr. et al., 2006). Isso explica, em parte, a redução do teor de MST de cladódios primários em função das doses de P nas condições anteriormente citadas, uma vez que fatores como idade da planta, tipo de solo, estação do ano, etc, podem influenciar o status hídrico dos cladódios (SANTOS et al., 2005).

De forma semelhante, o teor de MST de cladódios secundários na colheita bianual em Quixadá (Tabela 1) e na colheita anual em Tejuçuoca (Tabela 2) reduziu de forma quadrática em resposta às doses de P, sendo constatado menor teor nas doses 133,10 (156,07 g  $kg^{-1}$  de MN) e 133,43 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (91,11 g  $kg^{-1}$  de MN), respectivamente. O teor máximo estimado de MST de 262,50 e 103,18 g  $kg^{-1}$  de MN, respectivamente, foi observado na dose 10 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$   $ano^{-1}$ .

Por outro lado, houve efeito linear positivo das doses de N e P e interação negativa de N e P sobre o teor de MST de cladódios primários na colheita bianual em Tejuçuoca (Tabela 2). A interação negativa entre N e P indicou maior influência das doses de N sobre o teor de MST de cladódios primários nessas condições, uma vez que o teor mínimo de MST foi obtido na combinação N| $P_2O_5$  de 10|10 kg  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (74,04 g  $kg^{-1}$  de MN) e o teor máximo na combinação 190|10 kg  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (157,59 g  $kg^{-1}$  de MN). Nesse caso, possivelmente, as doses de N estimularam o surgimento de novos cladódios (NERD e MIZRAHI, 1994; DUBEUX Jr. et al., 2006; SILVA et al., 2013), resultando em maior teor de MST de

cladódios mais basais, como cladódios primários, pois passam a desempenhar função de sustentação dos demais cladódios com o prolongamento do período de crescimento; e redução do teor de MST de cladódios localizados mais no ápice da planta de palma forrageira, por exemplo, cladódios terciários, no presente estudo. Assim, o teor de MST de cladódios terciários na colheita bianual em Tejuçuoca reduziu de forma quadrática em função das doses de N até a dose 152,35 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (82,30 g kg<sup>-1</sup> de MN), sendo o teor máximo verificado na dose 10 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (94,45 g kg<sup>-1</sup> de MN).

O teor de MST de cladódios secundários na colheita bianual em Tejuçuoca também aumentou em resposta à adubação de forma semelhante a cladódios primários na colheita bianual em Tejuçuoca, sendo observado menor teor na dose 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (93,14 g kg<sup>-1</sup> de MN) e maior teor na dose 83,52 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (98,12 g kg<sup>-1</sup> de MN).

O teor de MST de cladódios primários na colheita bianual em Quixadá não aumentou com a adubação, como observado em cladódios primários na colheita bianual em Tejuçuoca, possivelmente, devido ao tipo de solo arenoso em Quixadá, com baixa capacidade de armazenamento de água da chuva, o que influenciou negativamente o crescimento da palma forrageira, justificando esse tipo de resposta.

Tabela 1. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) da composição química de cladódios primários (Pri) e secundários (Sec) de palma forrageira cv. Gigante nas frequências de colheita anual (A) e bianual (B) em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo

Or <sup>a</sup>	FC <sup>b</sup>	Nutr <sup>c</sup>	Equações de regressão <sup>d</sup>	R <sup>2</sup>
Pr	A	MST	Y = 136,03	--
		MO	Y = 917,39	--
		PB	Y = 53,6719 + 0,09246 <sup>*</sup> N	0,40
		CHT	Y = 816,6580 + 0,4308 <sup>o</sup> N - 0,002330 <sup>*</sup> N <sup>2</sup>	0,34
		FDN	Y = 174,950 - 0,2054N + 0,009142 <sup>**</sup> N <sup>2</sup> + 2,6457 <sup>***</sup> P - 0,02125 <sup>***</sup> NP	0,99
Pr	B	MST	Y = 251,2060 - 1,2231 <sup>*</sup> P + 0,004461 <sup>*</sup> P <sup>2</sup>	0,71
		MO	Y = 904,3890 + 0,2490 <sup>*</sup> N - 0,001454 <sup>**</sup> N <sup>2</sup> + 0,3062 <sup>**</sup> P - 0,001181 <sup>*</sup> P <sup>2</sup>	0,66
		PB	Y = 34,3130 - 0,04252N + 0,0004518 <sup>o</sup> N <sup>2</sup> + 0,05443 <sup>*</sup> P	0,71
		CHT	Y = 851,9640 + 0,3082 <sup>*</sup> N - 0,002060 <sup>**</sup> N <sup>2</sup> + 0,2611 <sup>o</sup> P - 0,001292 <sup>o</sup> P <sup>2</sup>	0,54
		FDN	Y = 122,0780 + 2,8241 <sup>***</sup> N + 1,4340 <sup>**</sup> P + 0,008454 <sup>**</sup> P <sup>2</sup> - 0,02706 <sup>***</sup> NP	0,57
Sec	A	MST	Y = 148,33	--
		MO	Y = 866,3180 + 0,1224N + 0,001123 <sup>o</sup> N <sup>2</sup> + 0,3864 <sup>*</sup> P - 0,002825 <sup>o</sup> NP	0,65
		PB	Y = 78,67	--
		CHT	Y = 746,0740 + 0,4769 <sup>o</sup> N + 0,5937 <sup>o</sup> P - 0,004888 <sup>o</sup> NP	0,43
		FDN	Y = 284,2490 - 0,2640 <sup>**</sup> N	0,42
Sec	B	MST	Y = 280,490 - 1,8693 <sup>**</sup> P + 0,007021 <sup>*</sup> P <sup>2</sup>	0,74
		MO	Y = 897,2140 + 0,1806 <sup>o</sup> N - 0,001082 <sup>o</sup> N <sup>2</sup> + 0,3090 <sup>*</sup> P - 0,001072 <sup>o</sup> P <sup>2</sup>	0,56
		PB	Y = 40,9892 + 0,05049 <sup>**</sup> N	0,57
		CHT	Y = 848,7450 - 0,09741 <sup>o</sup> N + 0,08606 <sup>o</sup> P	0,30
		FDN	Y = 234,4710 + 1,0189 <sup>**</sup> N - 0,1173P + 0,004665 <sup>**</sup> P <sup>2</sup> - 0,008056 <sup>*</sup> NP	0,53

<sup>a</sup>Ordem de cladódio. <sup>b</sup>Frequência de colheita. <sup>c</sup>Nutrientes: MST = Matéria seca total (g kg<sup>-1</sup> de matéria natural); MO = Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup> de MS); PB = Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup> de MS); CHT = Carboidratos totais (g kg<sup>-1</sup> de MS); FDN = Fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>d</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As doses de N influenciaram positivamente o teor de proteína bruta (PB) de cladódios primários na colheita anual em ambas as localidades. Em Quixadá (Tabela 1), houve efeito linear positivo das doses de N, sendo observado teor máximo na dose 190 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (71,24 g kg<sup>-1</sup> de MS). Em Tejuçuoca (Tabela 2), houve efeito linear positivo das doses de N e quadrático positivo das doses de P, sendo verificado teor máximo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (83,23 g kg<sup>-1</sup> de MS). Esse efeito corrobora com uma relação diretamente proporcional observada entre concentração de nitrogênio no solo e teor de proteína bruta na parte aérea da palma forrageira (GONZÁLEZ, 1989; DUBEUX Jr. et al., 2006).

Por outro lado, as doses de N influenciaram negativamente o teor de PB de cladódios primários na colheita bianual nas duas localidades, sendo observada redução quadrática, com teor máximo verificado na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (44,27 g kg<sup>-1</sup> de MS) em Quixadá e redução linear, com teor máximo obtido na combinação 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (75,18 g kg<sup>-1</sup> de MS) em Tejuçuoca. Da mesma forma, o teor de PB de cladódios secundários na colheita bianual em Tejuçuoca reduziu de forma linear com as doses de N e P, sendo verificado teor máximo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (76,57 g kg<sup>-1</sup> de MS).

Cladódios maduros ou mais velhos não acumulam proteína bruta, porque a maior parte do nitrato absorvido é mobilizada para cladódios mais jovens em crescimento (NERD e NOBEL, 1995). O prolongamento do período de crescimento, como ocorreu na colheita bianual no presente estudo, tende a aumentar o número total de cladódios da palma forrageira e, conseqüentemente, a força do dreno (PIMIENTA-BARRIOS et al., 2005), o que também justifica o maior teor de PB de cladódios secundários na colheita bianual em Quixadá e de cladódios terciários na colheita bianual em Tejuçuoca, em níveis crescentes de N, com teor máximo de 50,58, na dose 190 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, e 107,78 g kg<sup>-1</sup> de MS, na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

O teor de PB de cladódios secundários e terciários na colheita anual em Tejuçuoca manteve uma correlação positiva entre as doses de N e/ou P, sendo constatado teor máximo na dose 190 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (95,68 g kg<sup>-1</sup> de MS) e na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 130,51|114,58 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (125,18 g kg<sup>-1</sup> de MS), respectivamente. Maior frequência de colheita resulta na manutenção de cladódios na fase jovem. Cladódios mais jovens apresentam maior atividade da enzima nitrato redutase (NERD e NOBEL, 1995), responsável pela redução do nitrato a amônia (PRADO, 2008), sendo posteriormente incorporado em aminoácidos, o que resulta em maior acúmulo de PB, em resposta à adubação nitrogenada.

O teor de PB da palma forrageira em Tejuçuoca ficou acima do mínimo necessário de 70 g kg<sup>-1</sup> de MS para funcionamento normal do rúmen (VAN SOEST, 1994), comportamento observado em todas as ordens de cladódios avaliadas, nas duas frequências de colheita. Vale

ressaltar que o maior teor de PB foi obtido com cladódios terciários, sob colheita anual, na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 130,51|114,58 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (125,18 g kg<sup>-1</sup> de MS). Nesse último caso, as doses de N e P podem ter interagido de forma sinérgica, potencializando o acúmulo de PB. Nitrogênio e fósforo presentes no solo são absorvidos principalmente nas formas NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, respectivamente, que, por terem íons de sinais contrários, podem ser absorvidas concomitantemente via simporte. Além disso, a adubação fosfatada também disponibiliza mais energia na forma de ATP para assimilação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (PRADO, 2008).

Tabela 2. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) da composição química de cladódios primários (Pri), secundários (Sec) e terciários (Terc) de palma forrageira cv. Gigante nas frequências de colheita anual (A) e bianual (B) em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo

Or <sup>a</sup>	FC <sup>b</sup>	Nutr <sup>c</sup>	Equações de regressão <sup>d</sup>	R <sup>2</sup>
Pri	A	MST	$Y = 125,2030 - 0,01833N - 0,001350^{***}N^2 - 0,3448^{**}P + 0,002968^{**}NP$	0,71
		MO	$Y = 886,1650 + 0,2077^{\circ}N - 0,0009083^{\circ}N^2$	0,41
		PB	$Y = 66,1383 + 0,09524^{***}N - 0,1070P + 0,0006526^{\circ}P^2$	0,88
		CHT	$Y = 805,28$	--
		FDN	$Y = 271,410 + 0,6109N + 0,007758^{\circ}N^2 + 0,7926^{\circ}P + 0,006336^{\circ}P^2 - 0,01867^{\circ}NP$	0,45
Pri	B	MST	$Y = 64,9365 + 0,5117^{***}N + 0,4463^{***}P - 0,004752^{***}NP$	0,81
		MO	$Y = 854,7070 + 0,4699^{***}N - 0,001897^{**}N^2 + 0,4889^{***}P - 0,001799^{**}P^2$	0,79
		PB	$Y = 79,6120 - 0,2182^{\circ}N - 0,2569^{\circ}P + 0,003172^{**}NP$	0,60
		CHT	$Y = 753,8710 + 0,7334^{***}N + 0,8139^{***}P - 0,007465^{***}NP$	0,63
		FDN	$Y = 231,6760 + 2,5386^{***}N + 1,8449^{***}P - 0,01794^{***}NP$	0,97
Sec	A	MST	$Y = 105,2160 - 0,2114^{\circ}P + 0,0007922^{\circ}P^2$	0,57
		MO	$Y = 904,0660 - 0,2736^{\circ}P + 0,001134^{\circ}P^2$	0,64
		PB	$Y = 73,3145 + 0,1177^{***}N$	0,80
		CHT	$Y = 796,1710 - 0,1417^{**}P$	0,58
		FDN	$Y = 60,3589 + 1,8923^{***}N + 0,003933^{**}N^2 + 2,5317^{***}P - 0,02338^{***}NP$	0,83
Sec	B	MST	$Y = 91,7004 + 0,1536P - 0,0009195^{\circ}P^2$	0,28
		MO	$Y = 856,1890 + 0,5554^{***}N - 0,002296^{**}N^2 + 0,2763^{\circ}P - 0,001004^{\circ}P^2$	0,73
		PB	$Y = 80,1902 - 0,1788^{\circ}N - 0,2111^{\circ}P + 0,002757^{**}NP$	0,63
		CHT	$Y = 757,9670 + 0,5555^{\circ}N - 0,002625^{\circ}N^2 + 0,6544^{**}P - 0,003237^{**}P^2$	0,52
		FDN	$Y = 302,5950 + 2,4640^{***}P - 0,0101^{***}P^2$	0,46
Terc	A	MST	$Y = 84,75$	--
		MO	$Y = 862,5990 + 0,4060^{\circ}N - 0,1621P + 0,002085^{\circ}P^2 - 0,003453^{\circ}NP$	0,58
		PB	$Y = 63,4663 + 0,6601^{**}N - 0,002529^{**}N^2 + 0,3254^{\circ}P - 0,001420^{\circ}P^2$	0,91
		CHT	$Y = 755,0910 - 0,1818^{\circ}N$	0,32
		FDN	$Y = 232,580 + 0,2970^{\circ}N$	0,40
Terc	B	MST	$Y = 96,2162 - 0,1827^{**}N + 0,0005996^{\circ}N^2$	0,80
		MO	$Y = 847,650 + 0,4405^{**}N + 0,2486^{\circ}P + 0,001164^{\circ}P^2 - 0,004057^{**}NP$	0,74
		PB	$Y = 91,4421 + 0,1083^{**}N - 0,4467^{***}P + 0,002303^{***}P^2$	0,69
		CHT	$Y = 717,5290 + 0,6244^{**}N + 0,7238^{***}P - 0,006779^{***}NP$	0,62
		FDN	$Y = 422,4950 - 1,800^{***}N + 1,6244^{***}P - 0,01028^{***}P^2 + 0,008277^{\circ}NP$	0,95

<sup>a</sup>Ordem de cladódio. <sup>b</sup>Frequência de colheita. <sup>c</sup>Nutrientes: MST = Matéria seca total (g kg<sup>-1</sup> de matéria natural); MO = Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup> de MS); PB = Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup> de MS); CHT = Carboidratos totais (g kg<sup>-1</sup> de MS); FDN = Fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>d</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Em Quixadá, os teores de PB de cladódios primários e secundários na colheita bianual ficaram abaixo do mínimo necessário para a função normal do rúmen. Nesse caso, provavelmente, o efeito da adubação sobre o teor de PB foi comprometido pelo tipo de solo arenoso que possui baixa capacidade de armazenamento de água da chuva. Nessa condição, o

uso da adubação deve ser visto com cautela, pois se mostra pouco viável, demonstrando maior importância do uso de suplementação proteica do rebanho (MELO et al., 2003b).

As doses de N e P influenciaram positivamente o teor de fibra em detergente neutro (FDN) de cladódios primários nas duas frequências de colheitas, nas duas localidades. O teor de FDN de cladódios primários na colheita anual em ambas as localidades (Tabelas 1 e 2) aumentou, em resposta às doses de P, com teor máximo observado na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Na colheita bianual, o teor de FDN de cladódios primários nas duas localidades aumentou, em resposta às doses de N, sendo constatado teor máximo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. As doses de N e P favorecem o acúmulo FDN nos tecidos dos cladódios basais, porque estimulam o crescimento da palma forrageira e o surgimento de novos cladódios (DUBEUX Jr. et al., 2006).

Similarmente, as doses de N e P também influenciaram positivamente o teor de FDN de cladódios secundários, com teor máximo obtido na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na colheita bianual em Quixadá, e na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e na dose 121,98 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na colheita anual e bianual em Tejuçuoca, respectivamente. Por outro lado, as doses de N reduziram linearmente o teor de FDN de cladódios secundários na colheita anual em Quixadá. Nesse último caso, o estímulo a brotações de cladódios jovens, pobres em FDN, em resposta ao aumento das doses de N (NERD e MIZRAHI, 1994), justifica tal comportamento, o que demonstra que cladódios localizados no ápice da planta de palma forrageira são menos fibrosos. Esse efeito não foi observado para cladódios secundários na colheita anual em Tejuçuoca, possivelmente, devido às melhores condições de crescimento em função do tipo de solo, com maior capacidade de armazenamento de água da chuva, causando maior grau de maturação desses cladódios, o que também explica o aumento do teor de FDN de cladódios terciários nas duas frequências de colheita em Tejuçuoca com as doses de N e P.

De forma geral, as doses de N e P influenciaram positivamente o teor de matéria orgânica (MO) dos cladódios nas duas colheitas e nas duas localidades (Tabelas 1 e 2). Esse efeito é reflexo do maior acúmulo de FDN em função das doses de N e P. No entanto, o maior acúmulo de FDN nos tecidos de cladódios secundários na colheita anual em Tejuçuoca, em resposta à adubação não foi suficiente para aumentar o teor de MO. Nesse último caso, os cladódios foram colhidos mais jovens e, nessa condição, são mais ricos em minerais.

Assim, o teor de MO de cladódios primários na colheita anual em Tejuçuoca aumentou de forma quadrática, em resposta às doses de N até a dose 114,33 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (898,04 g kg<sup>-1</sup> de MS). Por outro lado, o teor de MO de cladódios secundários na colheita anual em Tejuçuoca reduziu de forma quadrática com as doses de P, sendo verificado teor

máximo na dose 10 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (901,44 g  $kg^{-1}$  de MS). Houve efeito quadrático positivo das doses de N, linear positivo das de P e interação negativa de N e P sobre o teor de MO de cladódios secundários na colheita anual em Quixadá, com máximo teor na combinação N| $P_2O_5$  de 10|190 kg  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (935,70 g  $kg^{-1}$  de MS). De forma semelhante, houve interação negativa de N e P sobre o teor de MO de cladódios terciários na colheita anual em Tejuçuoca, contudo, constatou-se efeito linear positivo das doses de N e quadrático positivo de P, com teor máximo na combinação N| $P_2O_5$  de 190|10 kg  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (931,77 g  $kg^{-1}$  de MS).

Na colheita bianual, foi verificado efeito quadrático positivo das doses de N e P sobre o teor de MO de cladódios primários e secundários em ambas as localidades. Assim, o teor máximo de MO de cladódios primários e secundários em Quixadá e de cladódios primários e secundários em Tejuçuoca foi obtido nas combinações N| $P_2O_5$  de 85,63|129,64 (934,90 g  $kg^{-1}$  de MS), 83,46|144,12 (927,02 g  $kg^{-1}$  de MS), 123,85|135,88 (917,02 g  $kg^{-1}$  de MS) e 120,95|137,60 kg  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (908,79 g  $kg^{-1}$  de MS), respectivamente. Para cladódios terciários, também na colheita bianual em Tejuçuoca, além do efeito quadrático positivo das doses de P, houve efeito linear positivo das doses de N e interação negativa de N e P sobre o teor de MO, com teor máximo verificado na combinação N| $P_2O_5$  de 190|10 kg  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (926,24 g  $kg^{-1}$  de MS).

As doses de N e P também influenciaram positivamente o teor de carboidratos totais (CHT), reflexo da resposta positiva do teor de FDN com as doses de N e P. Entretanto, esse comportamento não foi observado para cladódios secundários e terciários sob colheita anual em Tejuçuoca (Tabela 2). Embora tenha havido aumento do teor de FDN em função da adubação nessas condições, o teor de PB também aumentou consideravelmente nos cladódios sob colheita anual em Tejuçuoca. Nesse caso, uma fração dos carboidratos solúveis pode ter sido utilizada como fonte de esqueleto de carbono para síntese de proteínas (PEYRAUD e ASTIGARRAGA, 1998), o que reduziu o teor de CHT.

Assim, o teor de carboidratos totais (CHT) de cladódios primários em Quixadá e de cladódios terciários em Tejuçuoca, ambos na colheita anual, aumentou de forma quadrática até a dose 92,45 kg de N  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (836,57 g  $kg^{-1}$  de MS) e reduziu de forma linear com teor máximo na dose 10 kg de N  $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (753,27 g  $kg^{-1}$  de MS), respectivamente. Por outro lado, o teor de CHT de cladódios secundários na colheita anual em Tejuçuoca reduziu linearmente com as doses de P, com teor máximo na dose 10 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$   $ano^{-1}$  (794,75 g  $kg^{-1}$  de MS). Para cladódios primários em Quixadá e secundários em Tejuçuoca, ambos na colheita bianual, o teor de CHT aumentou de forma quadrática com as doses de N e

P até a combinação 74,81|101,04 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (876,68 g kg<sup>-1</sup> de MS) e 105,81|101,08 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (820,43 g kg<sup>-1</sup> de MS), respectivamente.

Houve efeito linear positivo das doses de N e de P e interação negativa de N e P sobre o teor de CHT de cladódios secundários na colheita anual em Quixadá e de cladódios primários e terciários na colheita bianual em Tejuçuoca, sendo o teor máximo observado na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com teor máximo de 854,36; 901,66 e 848,41 g kg<sup>-1</sup> de MS, respectivamente. De forma semelhante, houve efeito linear positivo das doses de P sobre o teor de CHT de cladódios secundários na colheita bianual em Quixadá. No entanto, constatou-se efeito linear negativo de N e não houve interação N e P, com teor máximo observado na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 (864,12 g kg<sup>-1</sup> de MS).

A colheita bianual resultou em maior teor de MST de cladódios primários e secundários em Quixadá (Tabela 3). Cladódios sob colheita bianual encontram-se num estágio de maturação mais avançado, o que resulta em maior teor de MST. Isso também justifica os maiores teores de MO, CHT e FDN de cladódios primários e secundários sob colheita bianual em Quixadá. Em Tejuçuoca (Tabela 4), embora também tenham sido constatados maiores teores de MO, CHT e FDN de cladódios primários, secundários e terciários na colheita bianual, o teor de MST dos referidos cladódios não variou com a frequência de colheita. Nesse último caso, o solo com maior capacidade de armazenamento de água da chuva em Tejuçuoca resultou em cladódios mais hidratados, justificando a falta de efeito da frequência de colheita sobre o teor de MST.

Por outro lado, a colheita bianual resultou em menor teor de PB dos cladódios nas duas localidades. O prolongamento do período de crescimento resulta em diminuição do teor de PB e aumento do teor de FDN da palma forrageira (PINOS-RODRÍGUEZ et al., 2010), reflexo do processo de maturação. No entanto, o teor de PB de cladódios primários em Tejuçuoca não foi influenciado pela frequência de colheita. Existe uma menor capacidade de acúmulo de PB nos tecidos de cladódios primários, principalmente em melhores condições de crescimento, porque desempenham função estrutural ao longo do processo de crescimento da planta.

Tabela 3. Composição química de cladódios primários e secundários de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá

Nutrientes <sup>1</sup>	Primários <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P	Secundários <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P
	Anual	Bianual			Anual	Bianual		
MST	136,03 <sup>b</sup>	186,11 <sup>a</sup>	0,78	<0,0001	148,33 <sup>b</sup>	180,62 <sup>a</sup>	0,85	0,0315
MO	917,39 <sup>b</sup>	927,59 <sup>a</sup>	0,20	0,0009	899,54 <sup>b</sup>	919,48 <sup>a</sup>	0,31	<0,0001
PB	63,78 <sup>a</sup>	40,90 <sup>b</sup>	0,31	<0,0001	78,67 <sup>a</sup>	46,04 <sup>b</sup>	0,41	<0,0001
CHT	828,86 <sup>b</sup>	868,00 <sup>a</sup>	0,55	<0,0001	798,22 <sup>b</sup>	847,60 <sup>a</sup>	0,64	<0,0001
FDN	294,36 <sup>b</sup>	347,77 <sup>a</sup>	1,27	0,0003	258,75 <sup>b</sup>	291,14 <sup>a</sup>	0,63	0,0022

<sup>1</sup>MST = Matéria seca total (g kg<sup>-1</sup> de matéria natural); MO = Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup> de MS); PB = Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup> de MS); CHT = Carboidratos totais (g kg<sup>-1</sup> de MS); FDN = Fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup> de MS).

<sup>2</sup>Letras minúsculas iguais na mesma linha dentro de cada ordem de cladódio não diferem (P>0,05) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

Tabela 4. Composição química de cladódios primários, secundários e terciários de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca

Nutrientes <sup>1</sup>	Primários <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P	Secundários <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P	Terciários <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P
	Anual	Bianual			Anual	Bianual			Anual	Bianual		
MST	105,61 <sup>a</sup>	107,52 <sup>a</sup>	0,16	0,3611	94,08 <sup>a</sup>	95,66 <sup>a</sup>	0,13	0,5314	84,75 <sup>a</sup>	85,39 <sup>a</sup>	0,09	0,7612
MO	895,68 <sup>b</sup>	904,77 <sup>a</sup>	0,26	0,0077	890,62 <sup>b</sup>	898,42 <sup>a</sup>	0,23	0,0302	874,30 <sup>b</sup>	885,55 <sup>a</sup>	0,24	0,0083
PB	73,68 <sup>a</sup>	68,78 <sup>a</sup>	0,22	0,0919	85,96 <sup>a</sup>	72,08 <sup>b</sup>	0,26	<0,0001	115,22 <sup>a</sup>	86,16 <sup>b</sup>	0,46	<0,0001
CHT	805,28 <sup>b</sup>	825,01 <sup>a</sup>	0,37	0,0002	780,33 <sup>b</sup>	806,26 <sup>a</sup>	0,45	0,0003	735,69 <sup>b</sup>	776,44 <sup>a</sup>	0,60	<0,0001
FDN	377,43 <sup>b</sup>	469,07 <sup>a</sup>	1,46	<0,0001	291,04 <sup>b</sup>	424,24 <sup>a</sup>	1,95	<0,0001	262,59 <sup>b</sup>	370,13 <sup>a</sup>	1,57	<0,0001

<sup>1</sup>MST = Matéria seca total (g kg<sup>-1</sup> de matéria natural); MO = Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup> de MS); PB = Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup> de MS); CHT = Carboidratos totais (g kg<sup>-1</sup> de MS); FDN = Fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup> de MS).

<sup>2</sup>Letras minúsculas iguais na mesma linha dentro de cada ordem de cladódio não diferem (P>0,05) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

#### 4.1.2 Planta inteira

O teor de MST da palma forrageira reduziu de forma quadrática na colheita anual em Quixadá (Tabela 5) e Tejuçuoca (Tabela 6) e de forma linear na colheita bianual em Tejuçuoca em resposta às doses de P, variando de 154,16 (121,6 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) a 195,73 g kg<sup>-1</sup> de MN (10 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); 88,32 (134 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) a 103,27 g kg<sup>-1</sup> de MN (10 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); e de 78,91 (190 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) a 91,02 g kg<sup>-1</sup> de MN (10 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), respectivamente. Silva et al. (2013) observaram redução do teor de MS quando a palma forrageira foi adubada, reflexo de um melhor crescimento e, conseqüentemente, surgimento de novos cladódios ricos em água.

Por outro lado, as doses de N e P influenciaram positivamente o teor de MST da palma forrageira na colheita bianual em Quixadá, sendo observado aumento quadrático até a combinação N| $P_2O_5$  de 87,33|17,83 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (240,50 g kg<sup>-1</sup> de MN). O teor mínimo de MST da palma forrageira, na colheita bianual em Quixadá, foi obtido na combinação N| $P_2O_5$  de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (152,05 g kg<sup>-1</sup> de MN). O solo tipo arenoso em Quixadá afetou negativamente o crescimento da palma forrageira devido à baixa capacidade de armazenamento de água da chuva, o que, com o prolongamento do crescimento, resultou em maior teor de MST com as doses de N e P. Acevedo et al. (1983) observaram aumento do teor de MS da palma com menor disponibilidade de água no solo, variando de 109 ± 13 g kg<sup>-1</sup> de MS, com 20 dias de seca, para 206 ± 5 g kg<sup>-1</sup> de MS, com 65 dias de seca.

A mancha de solo demonstrou forte influencia sobre o teor de MST da palma forrageira, uma vez que a palma cultivada em Tejuçuoca apresentou-se mais hidratada que aquelas cultivadas em Quixadá. O solo de Quixadá foi classificado como arenoso, enquanto o de Tejuçuoca foi do tipo franco arenoso, com maior capacidade de armazenamento de água da chuva. Embora o aumento do teor de MS da palma forrageira contribua de forma positiva para atender os requerimentos nutricionais dos animais, a abertura estomática e o acúmulo de ácido durante a noite podem ficar comprometidos com a desidratação dos cladódios (ACEVEDO et al., 1983). Nesse sentido, é necessário estabelecer uma relação ótima entre aumento do teor de matéria seca e capacidade fotossintética da palma forrageira.

As doses de N e P influenciaram positivamente o teor de PB da palma forrageira nas duas colheitas em Quixadá (Tabela 5). Na colheita anual, houve aumento linear do teor de PB com as doses de P, sendo verificado teor máximo na dose 190 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (74,44 g kg<sup>-1</sup> de MS). Na colheita bianual, houve efeito quadrático positivo das doses de N, quadrático negativo das doses de P e interação positiva de N e P sobre o teor de PB, com teor máximo na combinação N| $P_2O_5$  de 190|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (62,60 g kg<sup>-1</sup> de MS). Normalmente,

o teor de PB da palma aumenta em resposta à adubação. Silva et al. (2013) observaram, em palma forrageira cv. Gigante, colhida aos 620 dias após o plantio, que os teores de PB aumentaram de 67,80 g kg<sup>-1</sup> de MS no tratamento sem adubação para 124 g kg<sup>-1</sup> de MS na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 200|150 kg ha<sup>-1</sup> e na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>|K<sub>2</sub>O de 200|150|100 kg ha<sup>-1</sup>.

Em Tejuçuoca (Tabela 6), o teor de PB na colheita bianual também aumentou em resposta às doses de N e P, sendo observado efeito quadrático positivo das doses de N e linear positivo das doses de P sobre o teor de PB, com teor máximo obtido na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 130,03|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (105,37 g kg<sup>-1</sup> de MS). Por outro lado, as doses de N e P não influenciaram o teor de PB da palma forrageira sob colheita anual em Tejuçuoca. Na colheita anual, os cladódios são mais jovens, portanto, metabolizam de forma semelhante o nitrogênio absorvido, resultando em similar acúmulo de PB, o que pode ter contribuído para a ausência de efeito das doses de N e P sobre o teor de PB da palma forrageira nessa condição. Esse efeito não se expressou na colheita anual em Quixadá, possivelmente, devido ao tipo de solo com baixa capacidade de armazenamento de água da chuva, o que pode ter reduzido a eficiência na absorção de N (MISTURA et al., 2007) e, conseqüentemente, alterado o padrão de crescimento da palma forrageira. Isso também justifica o menor teor de PB da palma forrageira cultivada em Quixadá em relação à cultivada em Tejuçuoca. Nefzaoui e Ben Salem (2002) e Dubeux Jr. et al. (2006) observaram variação do teor de PB da palma forrageira em função da concentração de nitrogênio e água no solo.

Tabela 5. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) da composição química da palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo

FC <sup>a</sup>	Nutr <sup>b</sup>	Equações de regressão <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>
A	MST	$Y = 203,505 - 0,8113^*P + 0,003335^*P^2$	0,49
	MO	$Y = 878,272 + 0,2263^*N + 0,001820^*N^2 + 0,07256P + 0,001926^*P^2 - 0,004816^*NP$	0,92
	PB	$Y = 59,7605 + 0,07724^*P$	0,29
	CHT	$Y = 837,610 - 0,2345^{**}P$	0,84
	FDN	$Y = 343,2530 - 1,1946^*N + 0,004596^*N^2$	0,44
B	MST	$Y = 143,1690 + 0,4898N + 0,01157^*N^2 + 0,4611P + 0,01135^*P^2 - 0,02923^*NP$	0,98
	MO	$Y = 921,29$	--
	PB	$Y = 44,0211 + 0,005999N - 0,001548^*N^2 - 0,006810P - 0,001397^*P^2 + 0,003464^*NP$	0,83
	CHT	$Y = 859,707 - 0,1111^{**}P$	0,37
	FDN	$Y = 320,715 + 0,3890^{**}N - 1,2295^{**}P + 0,005777^{**}P^2$	0,66

<sup>a</sup>Frequência de colheita. <sup>b</sup>Nutrientes: MST = Matéria seca total (g kg<sup>-1</sup> de matéria natural); MO = Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup> de MS); PB = Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup> de MS); CHT = Carboidratos totais (g kg<sup>-1</sup> de MS); FDN = Fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>c</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O teor de FDN da palma forrageira na colheita bianual em Quixadá (Tabela 5) e em ambas as colheitas em Tejuçuoca (Tabela 6) aumentou em resposta às doses de N e P. Em Quixadá, houve efeito linear positivo das doses de N e quadrático positivo das doses de P sobre o teor de FDN da palma forrageira, com teor máximo verificado na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (382,91 g kg<sup>-1</sup> de MS). Em Tejuçuoca, na colheita anual, houve efeito

linear positivo das doses de N e P e interação negativa de N e P, sendo verificado teor máximo de FDN na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (389,39 g kg<sup>-1</sup> de MS); na colheita bianual, houve efeito quadrático negativo das doses de N e P, sendo observado aumento do teor de FDN até a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 67,40|78,03 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (379,92 g kg<sup>-1</sup> de MS). As adubações nitrogenada e fosfatada favorecem o crescimento da palma forrageira, sobretudo quando combinadas com maior adensamento de plantas e em solos com nível de P abaixo de 10 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Dubeux Jr. et al., 2006). Maior crescimento da palma forrageira resulta em aumento do teor de FDN, principalmente de cladódios basais. Silva et al. (2013) não observaram variação do teor de FDN da palma forrageira em resposta à adubação, no entanto, houve aumento do teor de FDA.

Por outro lado, o teor de FDN da palma forrageira na colheita anual em Quixadá reduziu de forma quadrática com as doses de N, sendo verificado teor máximo de FDN na dose 10 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (370,59 g kg<sup>-1</sup> de MS). Nesse caso, o solo tipo arenoso de Quixadá limitou o crescimento da palma forrageira, o que manteve os cladódios com menor teor de FDN. Outro aspecto relevante é que a adubação nitrogenada estimula o surgimento de cladódios jovens (NERD e MIZRAHI, 1994) que são menos fibrosos.

Tabela 6. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) da composição química da palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo

FC <sup>a</sup>	Nutr <sup>b</sup>	Equações de regressão <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>
A	MST	$Y = 105,780 - 0,2602^{**}P + 0,0009695^{*}P^2$	0,89
	MO	$Y = 886,37$	--
	PB	$Y = 93,80$	--
	CHT	$Y = 788,735 - 0,2018^{*}P$	0,33
	FDN	$Y = 111,988 + 1,5019^{***}N + 1,4269^{***}P - 0,0117^{**}NP$	0,89
B	MST	$Y = 91,6905 - 0,06726^{**}P$	0,57
	MO	$Y = 887,350 + 0,1196^{*}N - 0,1232^{**}P$	0,33
	PB	$Y = 59,1321 + 0,4005^{*}N - 0,001540^{*}N^2 + 0,1063^{*}P$	0,59
	CHT	$Y = 795,809 - 0,2166^{**}P$	0,35
	FDN	$Y = 331,365 + 0,6441N - 0,004778^{*}N^2 + 0,6882P - 0,004410^{*}P^2$	0,43

<sup>a</sup>Frequência de colheita. <sup>b</sup>Nutrientes: MST = Matéria seca total (g kg<sup>-1</sup> de matéria natural); MO = Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup> de MS); PB = Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup> de MS); CHT = Carboidratos totais (g kg<sup>-1</sup> de MS); FDN = Fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>c</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° - indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O teor de MO da palma forrageira na colheita bianual em Tejuçuoca (Tabela 6) aumentou em função das doses de N. Houve efeito linear positivo das doses de N e linear negativo das doses de P. O teor máximo de MO foi observado na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (908,84 g kg<sup>-1</sup> de MS). Possivelmente, esse efeito seja reflexo do aumento do teor de FDN em resposta às doses de N e P.

Em Quixadá (Tabela 5), sob colheita anual, o teor de MO aumentou em função das doses de N e P, contudo, o teor de FDN reduziu nessa condição. Nesse caso, os

fotoassimilados podem ter sido direcionados para o acúmulo de carboidratos de reserva ou de compostos orgânicos no conteúdo celular (VAN SOEST, 1994). Assim, foi verificado efeito quadrático positivo de N e P e interação negativa de N e P, o que resultou num maior teor de MO na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (978,74 g kg<sup>-1</sup> de MS).

As doses de N e P não influenciaram o teor de MO da palma forrageira na colheita bianual em Quixadá e na colheita anual em Tejuçuoca. Efeito semelhante foi observado por Silva et al. (2013), por meio do qual verificaram que o teor de MO não variou com a adubação devido ao efeito de diluição relacionado com o crescimento da planta.

As doses de P influenciaram negativamente o teor de CHT da palma forrageira, sendo observada redução linear com as doses de P nas duas frequências de colheita e nas duas localidades (Tabelas 5 e 6). Assim, os teores máximos de 835,26; 858,60; 786,72 e 793,64 g de CHT kg<sup>-1</sup> de MS foram estimados na dose 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Isso é reflexo do maior acúmulo de PB, em que os carboidratos solúveis possivelmente foram utilizados como fonte de esqueleto de carbono para síntese proteica e, conseqüentemente, reduziram o teor de CHT (PEYRAUD e ASTIGARRAGA, 1998). De forma semelhante, Silva et al. (2013) observaram redução do teor de CHT da palma forrageira aos 620 dias após o plantio em resposta à adubação. Donato (2011) também observou redução do teor de carboidratos totais de palma forrageira com o aumento do nível de adubação orgânica.

A colheita bianual resultou em maiores teores de MST da palma forrageira em Quixadá (Tabela 7). O prolongamento do período de crescimento da palma forrageira resulta em maior teor de MST, reflexo do processo de maturação, o que também justifica maiores teores de MO, FDN e CHT e menor teor de PB (VAN SOEST, 1994; TITGEMEYER et al., 1996; WILSON e KENNEDY, 1996) na colheita bianual em Quixadá. O teor de MST pode variar de 60,90 g kg<sup>-1</sup> aos seis meses de idade (DUBEUX Jr. et al., 2010) a 72,90 g kg<sup>-1</sup> aos nove meses de idade (TELES et al., 2004).

Tabela 7. Composição química da palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá

Nutrientes <sup>1</sup>	Colheita <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P
	Anual	Bianual		
MST	163,70 <sup>b</sup>	193,87 <sup>a</sup>	0,60	0,0259
MO	900,80 <sup>b</sup>	921,29 <sup>a</sup>	0,28	<0,0001
PB	67,48 <sup>a</sup>	46,17 <sup>b</sup>	0,29	<0,0001
CHT	810,55 <sup>b</sup>	849,10 <sup>a</sup>	0,51	<0,0001
FDN	279,87 <sup>b</sup>	307,04 <sup>a</sup>	0,77	0,0464

<sup>1</sup>MST = Matéria seca total (g kg<sup>-1</sup> de matéria natural); MO = Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup> de MS); PB = Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup> de MS); CHT = Carboidratos totais (g kg<sup>-1</sup> de MS); FDN = Fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>2</sup>Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem (P>0,05) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

Por outro lado, em Tejuçuoca (Tabela 8), o teor de MST foi menor na colheita bianual. Nesse caso, o solo de melhor característica física pode ter estimulado o crescimento da palma e, conseqüentemente, o processo de brotações de novos cladódios com menor teor de MST. Isso também pode ter causado efeito de diluição, justificando a falta de efeito da frequência de colheita sobre os teores de MO, PB e CHT, contudo, não foi suficiente para evitar o maior acúmulo de FDN nos tecidos da palma forrageira sob colheita bianual em Tejuçuoca.

Tabela 8. Composição química da palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca

Nutriente <sup>1</sup>	Colheita <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P
	Anual	Bianual		
MST	92,17 <sup>a</sup>	84,97 <sup>b</sup>	0,14	0,0013
MO	886,37 <sup>a</sup>	886,99 <sup>a</sup>	0,22	0,8378
PB	93,80 <sup>a</sup>	90,72 <sup>a</sup>	0,25	0,5548
CHT	769,12 <sup>a</sup>	774,13 <sup>a</sup>	0,41	0,5314
FDN	275,08 <sup>b</sup>	350,66 <sup>a</sup>	1,26	<0,0001

<sup>1</sup>MST = Matéria seca total (g kg<sup>-1</sup> de matéria natural); MO = Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup> de MS); PB = Proteína bruta (g kg<sup>-1</sup> de MS); CHT = Carboidratos totais (g kg<sup>-1</sup> de MS); FDN = Fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>2</sup>Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem (P>0,05) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

## 4.2 Composição mineral da palma forrageira

### 4.2.1 Macrominerais

As doses de N e P influenciaram negativamente o teor de fósforo (P) da palma forrageira na colheita anual e bianual em Quixadá (Tabela 9) e na colheita bianual em Tejuçuoca (Tabela 10). O teor de P da palma forrageira na colheita anual em Quixadá reduziu de forma linear com as doses de N e de forma quadrática com as doses de P, sendo o teor máximo obtido na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (1,23 g kg<sup>-1</sup> de MS). Na colheita bianual, em ambas as localidades, houve redução quadrática do teor de P da palma forrageira com as doses de N e P, verificando teor máximo de 0,64 g kg<sup>-1</sup> de MS, em Quixadá, e de 1,15 g kg<sup>-1</sup> de MS, em Tejuçuoca, ambos obtidos na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Teles et al. (2004) atribuíram o aumento do teor de P da palma forrageira na presença de adubação fosfatada, ou com a aplicação de uma solução de macronutrientes completa, subtraindo a fonte de N ao crescimento limitado pela ausência de outros nutrientes, sendo observado, portanto efeito de concentração, com média de 2,3 g kg<sup>-1</sup> de MS.

Por outro lado, as doses de N e P influenciaram positivamente o teor de P da palma forrageira na colheita anual em Tejuçuoca. Nessa condição, o teor de P aumentou de forma quadrática até a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 130,26|77,82 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,89 g kg<sup>-1</sup> de MS). O acúmulo de fósforo na parte aérea da palma forrageira pode variar em função de fatores tais como tipo de solo, idade da planta, adição de fósforo no solo, teor de umidade do solo, etc.

(GARCÍA-CIUDAD et al., 1997; TELES et al., 2004; DONATO, 2011). Silva et al. (2012) observaram que o acúmulo de P nos tecidos da palma forrageira cv. Gigante variou em função do tipo de adubação e da época de colheita.

Tabela 9. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de macrominerais da palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo

FC <sup>a</sup>	Nutr <sup>b</sup>	Equações de regressão <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>
A	P	$Y = 1,3278 - 0,002485^{\circ}N - 0,007162^*P + 0,00002819^{\circ}P^2$	0,60
	K	$Y = 51,5797 - 0,2276^{**}N - 0,0008021^{\circ}N^2 - 0,1152^{\circ}P - 0,001262^{**}P^2 + 0,003428^{**}NP$	0,97
	Ca	$Y = 25,3493 - 0,01701^{\circ}N$	0,46
	Mg	$Y = 9,4276 - 0,007529^*P$	0,32
	S	$Y = 1,1565 + 0,07069^{***}N - 0,0002368^{**}N^2 + 0,04335^*P - 0,0002234^*P^2$	0,83
B	P	$Y = 0,6711 - 0,00087N - 0,00002908^{**}N^2 - 0,001956^{\circ}P - 0,00002082^{*}P^2 + 0,00006577^{**}NP$	0,44
	K	$Y = 20,2429 + 0,02501^{\circ}N - 0,0001276^*N^2$	0,24
	Ca	$Y = 21,4868 + 0,03802^{\circ}P - 0,0002449^*P^2$	0,24
	Mg	$Y = 6,0266 + 0,01706^*N - 0,0001056^{**}N^2 + 0,01369^*P - 0,00005654^{\circ}P^2$	0,88
	S	$Y = 2,8499 + 0,07490^{**}N - 0,0001917^{\circ}N^2 + 0,09599^{***}P - 0,0004798^{***}P^2$	0,69

<sup>a</sup>Frequência de colheita. <sup>b</sup>Nutrientes: P = Fósforo (g kg<sup>-1</sup> de MS); K = Potássio (g kg<sup>-1</sup> de MS); Ca = Cálcio (g kg<sup>-1</sup> de MS); Mg = Magnésio (g kg<sup>-1</sup> de MS); S = Enxofre (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>c</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As doses de N e/ou P reduziram o teor de cálcio (Ca) da palma forrageira na colheita anual em Quixadá (Tabela 9) e em ambas as colheitas em Tejuçuoca (Tabela 10). Em Quixadá, houve redução linear do teor de Ca com as doses de N, sendo verificada variação de 22,12 (dose 190 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) a 25,18 g kg<sup>-1</sup> de MS (dose 10 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Em Tejuçuoca, na colheita anual, houve redução quadrática do teor de Ca em função das doses de P, com teores de Ca variando de 24,04, na dose 173,93 kg de P ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, a 33,78 g kg<sup>-1</sup> de MS, na dose 10 kg de P ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; na colheita bianual, o teor de Ca reduziu de forma linear em resposta às doses de N e de forma quadrática em resposta às doses de P, com teores de Ca variando de 14,74, na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, a 23,83 g kg<sup>-1</sup> de MS, na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|61,47 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

A presença de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo pode inibir a absorção de cálcio, uma vez que o cálcio é absorvido como Ca<sup>2+</sup> (SILVA et al., 2012), resultando em menor acúmulo de Ca nos tecidos da palma forrageira. Galizzi et al. (2004) observaram uma relação inversa entre o teor de cálcio nos tecidos dos cladódios e o teor de nitrogênio no solo.

Por outro lado, em Quixadá, na colheita bianual, houve aumento quadrático do teor de Ca com as doses de P, sendo verificado aumento de 21,84, na dose 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para 22,96 g kg<sup>-1</sup> de MS, na dose 77,62 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Nesse caso, maiores quantidades de P podem ter limitado o crescimento da palma forrageira e ter ocorrido efeito de concentração sobre o teor de Ca (TELES et al., 2004).

As doses de N e P modificaram os teores de Ca e P da palma forrageira, o que permitiu reduzir a relação Ca:P para 9,72:1,00 com a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na colheita bianual em Tejuçuoca. De modo geral, os teores de Ca da palma forrageira apresentaram-se elevados, corroborando com o que é observado na literatura. O alto consumo de cálcio não apresenta grande risco, uma vez que os mecanismos homeostáticos podem prevenir absorção excessiva deste elemento (SANTOS et al., 2005). Em contrapartida, pode limitar a absorção de fósforo (WU et al., 2000). Andrade et al. (2002) observaram comportamento quadrático do consumo de cálcio e fósforo em vacas em lactação alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na dieta.

Tabela 10. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) de teores macrominerais da palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo

FC <sup>a</sup>	Nutri <sup>b</sup>	Equações de regressão <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>
A	P	$Y = 0,4000 + 0,004593^*N - 0,00001763^*N^2 + 0,005024^{**}P - 0,00003228^{***}P^2$	0,72
	K	$Y = 23,1727 + 0,04526P - 0,0003402^*P^2$	0,74
	Ca	$Y = 35,0091 - 0,1261^{***}P + 0,0003625^*P^2$	0,87
	Mg	$Y = 8,68$	--
	S	$Y = 6,86$	--
B	P	$Y = 1,3383 - 0,01069^{***}N + 0,00006287^{***}N^2 - 0,008930^{***}P + 0,00004773^{***}P^2$	0,76
	K	$Y = 18,7489 + 0,01447N + 0,0006780^*N^2 + 0,04070P + 0,0007327^{**}P^2 - 0,001712^*NP$	0,54
	Ca	$Y = 22,9494 - 0,04529^{***}N + 0,04351^*P - 0,0003539^{***}P^2$	0,92
	Mg	$Y = 12,1238 - 0,04158^*N + 0,0001518^{\circ}N^2 + 0,02180^{**}P$	0,60
	S	$Y = 15,1768 - 0,04410^{\circ}N + 0,0004903^{**}N^2 + 0,008297P + 0,0004220^*P^2 - 0,0007496^{\circ}NP$	0,63

<sup>a</sup>Frequência de colheita. <sup>b</sup>Nutrientes: P = Fósforo (g kg<sup>-1</sup> de MS); K = Potássio (g kg<sup>-1</sup> de MS); Ca = Cálcio (g kg<sup>-1</sup> de MS); Mg = Magnésio (g kg<sup>-1</sup> de MS); S = Enxofre (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>c</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O teor de potássio (k) da palma forrageira na colheita anual em Quixadá (Tabela 9) reduziu de forma quadrática em resposta às doses de N e P, sendo verificado teor máximo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (48,29 g kg<sup>-1</sup> de MS); na colheita bianual, o teor de K aumentou de forma quadrática em função das doses de N, sendo observado aumento de 20,48 (dose 10 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) para 21,47 g kg<sup>-1</sup> de MS (98 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Em Tejuçuoca (Tabela 10), na colheita anual, houve aumento quadrático do teor de K em função das doses de P, sendo verificado aumento de 23,59 (dose 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) para 24,68 g kg<sup>-1</sup> de MS (dose 66,52 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); na colheita bianual, houve efeito quadrático positivo das doses de N e P e interação negativa de N e P sobre o teor de K, o que resultou num teor máximo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (49,89 g kg<sup>-1</sup> de MS) e menor na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (19,27 g kg<sup>-1</sup> de MS). Silva et al. (2012) observaram que a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> influenciou de forma negativa o teor de K da palma forrageira aos 390 dias após o plantio, atribuíram isso à inibição competitiva pelo mesmo sítio de absorção entre NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e K<sup>+</sup>.

A palma forrageira mostrou-se rica em K, corroborando com os resultados observados na literatura. Essa característica pode aumentar o requerimento por sódio, uma vez que dietas com excesso de potássio podem interferir na concentração e absorção ruminal de sódio (SPEARS e HARVEY, 1987). Nesse contexto, maiores teores de Na podem ser requeridos na dieta dos animais com a inclusão de palma forrageira obtida da combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na colheita anual em Quixadá e da combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na colheita bianual em Tejuçuoca.

As doses de N e/ou P promoveram pequenas alterações no teor de magnésio (Mg) da palma forrageira em Quixadá (Tabela 9). Na colheita anual, por exemplo, embora tenha sido constatada redução linear do teor de Mg com as doses de P, o teor de Mg reduziu apenas de 9,35 (dose 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) para 8,00 g kg<sup>-1</sup> de MS (dose 190 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); na colheita bianual, houve aumento quadrático do teor de Mg em função das doses de N e P, sendo verificado aumento de 6,32 (na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) para 7,54 g kg<sup>-1</sup> de MS (na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 80,78|121,06 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

O teor de Mg em plantas forrageiras pode reduzir em função de um solo mais ácido e com mais alto teor de alumínio (SOUSA et al., 1982). Nas condições do presente estudo, o pH do solo nas duas localidades ficou próximo da neutralidade e foram ausentes em alumínio, justificando a baixa variação do teor de Mg em função das doses de N e P e também a falta de efeito das doses de N e P sobre o teor de Mg observada na colheita anual em Tejuçuoca.

Em Tejuçuoca (Tabela 10), na colheita bianual, houve efeito quadrático positivo das doses de N e linear positivo das doses de P sobre o teor de Mg, sendo observada variação de 9,49 (combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 136,96|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) a 15,87 g kg<sup>-1</sup> de MS (combinação 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Esses resultados ficaram próximo ao observado por Silva et al. (2012), de 12,5 g kg<sup>-1</sup> de MS. De modo geral, a palma forrageira apresentou-se rica em Mg, variando dentro do que é observado na literatura, de 6,40 a 14,20 g kg<sup>-1</sup> de MS (NOBEL et al., 1987). A absorção do Mg pode ser reduzida em dietas ricas em K (NRC, 2001). Nesse aspecto, o alto teor de K na palma forrageira pode requerer suplementação com Mg no fornecimento de dietas ricas nesse alimento. No presente estudo, o teor máximo de K foi observado com combinação 10|190 sob colheita bianual em Tejuçuoca.

As doses de N e/ou P favoreceram o acúmulo de enxofre (S) nos tecidos da palma forrageira nas duas frequências de colheitas e nas duas localidades, exceto na colheita anual em Tejuçuoca. Em Quixadá (Tabela 9), o teor de S aumentou de forma quadrática até a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 149,30|97,02 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (8,54 g kg<sup>-1</sup> de MS), na colheita anual, e até a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (14,96 g kg<sup>-1</sup> de MS), na colheita bianual. O teor mínimo de S foi de 2,25 g kg<sup>-1</sup> de MS, na colheita anual, e de 4,49 g kg<sup>-1</sup> de MS, na

colheita bianual, ambos estimados com a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em Tejuçuoca (Tabela 10), as doses de N e P não influenciaram o teor de S da palma forrageira na colheita anual. No entanto, houve efeito quadrático positivo das doses de N e P e interação negativa de N e P na colheita bianual, o que resultou no teor máximo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (30,17 g kg<sup>-1</sup> de MS) e menor na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 116,67|93,79 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (12,99 g kg<sup>-1</sup> de MS).

Ao se aplicar superfosfato simples como fonte de fósforo, indiretamente adicionou-se enxofre, aumentando os teores deste no solo e, conseqüentemente, nos tecidos dos cladódios. Avaliando a relação entre nutrientes no solo e nos cladódios de palma forrageira, Galizzi et al. (2004) também observaram correlação positiva entre o teor de enxofre no cladódio e a concentração de fósforo no solo.

No presente estudo, o menor teor de enxofre foi obtido com a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nas duas frequências de colheitas em Quixadá, o que pode reduzir a utilização do nitrogênio não proteico quando a dieta for pobre em proteína verdadeira, pois o enxofre está envolvido na síntese de proteína microbiana (VAN SOEST, 1994).

Os teores de P e K da palma forrageira diminuíram com colheita bianual em Quixadá (Tabela 11). O P e o K apresentam alta mobilidade na planta, o que explica sua redução na idade mais avançada, onde existe maior proporção de cladódios mais velhos. Teles et al. (2004), avaliando o teor de macrominerais em cladódios primários e secundários de palma forrageira cv. Gigante, observaram maior teor de P e K em cladódios mais jovens (secundários). Em Tejuçuoca (Tabela 12), a frequência de colheita não influenciou os teores de P e K, onde as melhores condições de crescimento da palma forrageira podem ter resultado em efeito de diluição, o que também justifica o menor teor de Ca sob colheita bianual.

Tabela 11. Macrominerais da palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá

Nutrientes <sup>1</sup>	Colheita <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P
	Anual	Bianual		
P	0,71 <sup>a</sup>	0,51 <sup>b</sup>	0,05	0,0009
K	30,09 <sup>a</sup>	21,16 <sup>b</sup>	1,29	<0,0001
Ca	23,65 <sup>a</sup>	22,24 <sup>a</sup>	0,42	0,0542
Mg	8,68 <sup>a</sup>	7,10 <sup>b</sup>	0,23	<0,0001
S	6,86 <sup>b</sup>	11,61 <sup>a</sup>	0,79	<0,0001

<sup>1</sup> P = Fósforo (g kg<sup>-1</sup> de MS); K = Potássio (g kg<sup>-1</sup> de MS); Ca = Cálcio (g kg<sup>-1</sup> de MS); Mg = Magnésio (g kg<sup>-1</sup> de MS); S = Enxofre (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>2</sup> Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem (P>0,05) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup> Erro padrão da média.

Em Tejuçuoca (Tabela 12), o teor de Mg aumentou com colheita bianual. O Mg é um elemento de baixa mobilidade na planta, o que justifica seu maior acúmulo com o prolongamento do período de colheita. Silva et al. (2012) observaram aumento do teor de Mg com o prolongamento do período de crescimento de 7,70 para 12,50 g kg<sup>-1</sup> de MS com

colheita de 390 para 620 dias após o plantio, respectivamente. Por outro lado, a frequência de colheita não influenciou o teor de Mg da palma forrageira em Quixadá (Tabela 11). As condições de crescimento da palma forrageira pouco favoráveis em Quixadá podem ter atrasado o processo de maturação, resultando em um menor teor de Mg na colheita bianual.

Tabela 12. Macrominerais da palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca

Nutrientes <sup>1</sup>	Colheita <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P
	Anual	Bianual		
P	0,74 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	0,05	0,9899
K	23,46 <sup>a</sup>	22,66 <sup>a</sup>	0,47	0,3232
Ca	26,89 <sup>a</sup>	18,38 <sup>b</sup>	1,30	<0,0001
Mg	9,86 <sup>b</sup>	11,83 <sup>a</sup>	0,36	<0,0001
S	12,96 <sup>b</sup>	14,48 <sup>a</sup>	0,44	0,0319

<sup>1</sup> P = Fósforo (g kg<sup>-1</sup> de MS); K = Potássio (g kg<sup>-1</sup> de MS); Ca = Cálcio (g kg<sup>-1</sup> de MS); Mg = Magnésio (g kg<sup>-1</sup> de MS); S = Enxofre (g kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>2</sup> Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem (P>0,05) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

O teor de S da palma forrageira foi maior na colheita bianual em ambas as localidades. O superfosfato simples, utilizado como fonte de fósforo, apresenta enxofre em sua composição, o que aumentou os níveis de enxofre no solo. Assim, houve maior tempo de absorção de S na colheita bianual, resultando em maior acúmulo nos tecidos da palma.

#### 4.2.2 Microminerais

As doses de N e P influenciaram negativamente o teor de cobre (Cu) da palma forrageira em ambas as colheitas em Quixadá (Tabela 13). Na colheita anual, o teor de Cu da palma forrageira reduziu de forma quadrática em resposta às doses de N, com teor máximo obtido na dose 10 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,047 mg kg<sup>-1</sup> de MS); na colheita bianual, houve redução quadrática do teor de Cu com as doses de P, com teor máximo verificado na dose 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,03 mg kg<sup>-1</sup> de MS). Possivelmente, houve inibição competitiva entre Cu<sup>+2</sup> e as formas absorvíveis de nitrogênio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e fósforo (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) (PRADO, 2008).

Em Tejuçuoca (Tabela 14), na colheita anual, o teor de Cu aumentou de forma linear em resposta às doses de N, com teor máximo verificado na dose 190 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,045 mg kg<sup>-1</sup> de MS); na colheita bianual, houve efeito quadrático positivo das doses de N e P e interação negativa de N e P, o que resultou em maior teor de Cu na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,16 mg kg<sup>-1</sup> de MS). Nesse caso, as melhores condições de crescimento da palma forrageira, o que aumentou a eficiência de utilização do adubo, pode ter aumentado a proporção de tecidos fotossinteticamente ativos, resultando num maior teor de Cu nos

tecidos da palma forrageira, uma vez que a maior fração desse elemento está presente nos cloroplastos (PRADO, 2008).

A palma forrageira mostrou-se deficiente em cobre. Batista et al. (2003b), avaliando diferentes cultivares de palma forrageira, observaram baixos teores de Cu em todas as cultivares (gigante, miúda, IPA-20). Baixos teores de Cu também foram observados em palma forrageira cultivada na Argentina (GALIZZI et al., 2004) e na região Nordeste do Brasil (DUBEUX Jr. et al., 2010; DONATO, 2011; SILVA et al., 2012).

Tabela 13. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de microminerais da planta de palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo

FC <sup>a</sup>	Nutr <sup>b</sup>	Equações de regressão <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>
A	Cu	$Y = 0,04982 - 0,0002794^{**}N + 0,000001171^{*}N^2$	0,67
	Fé	$Y = 64,4255 - 0,1580^{*}N + 0,3649^{*}P - 0,001551^{*}P^2$	0,22
	Mn	$Y = 140,095 - 0,4714N + 0,01088^{**}N^2 + 2,4986^{**}P - 0,02129^{**}NP$	0,67
B	Cu	$Y = 0,03189 - 0,0002426^{**}P + 0,0000009935^{*}P^2$	0,53
	Fé	$Y = 62,7841 + 0,07884^{*}P$	0,13
	Mn	$Y = 118,124 + 1,2556^{**}N - 0,005051^{**}N^2 + 0,4225P - 0,003057^{*}P^2$	0,57

<sup>a</sup>Frequência de colheita. <sup>b</sup>Nutrientes: Cu = Cobre (mg kg<sup>-1</sup> de MS); Fé = Ferro (mg kg<sup>-1</sup> de MS); Mn = Manganês (mg kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>c</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As doses de P influenciaram positivamente o teor de ferro (Fe) da palma forrageira. Em Quixadá (Tabela 13), na colheita anual, o teor de Fe reduziu de forma linear com as doses de N e aumentou de forma quadrática com as doses de P, variando de 37,9 (combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) a 84,31 mg kg<sup>-1</sup> de MS (combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|117,63 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); na colheita bianual, o teor de Fe aumentou linearmente com as doses de P, variando de 63,57 (10 kg de P ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) a 77,76 mg kg<sup>-1</sup> de MS (190 kg de P ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). De forma semelhante, em Tejuçuoca (Tabela 14), sob colheita bianual, constatou-se efeito quadrático positivo das doses de N e P e interação negativa de N e P, com teor máximo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (352,34 mg kg<sup>-1</sup> de MS) e mínimo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (49,72 mg kg<sup>-1</sup> de MS).

Provavelmente, a interação fósforo e ferro favoreceu a absorção de ambos, porque podem ter transporte via simporte, onde dois íons de sinais contrários, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> e F<sup>2+</sup>, são absorvidos juntos (PRADO, 2008). Em Tejuçuoca, na colheita anual, o teor de Fe reduziu de forma quadrática em resposta às doses de P até a dose 105,70 kg de P ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (120,13 mg kg<sup>-1</sup> de MS), com teor máximo verificado na dose 10 kg de P ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (157,15 mg kg<sup>-1</sup> de MS).

A palma forrageira mostrou-se rica em Fe. Os teores máximo de Fe estimados no presente estudo foram maiores que os observados por Silva et al. (2012), os quais verificaram

teor médio de 37,88 e 45,20 mg kg<sup>-1</sup> de MS para colheita aos 390 e 620 dias, respectivamente. Alto consumo de ferro por animais ruminantes pode aumentar o requerimento por cobre. Phillippo et al. (1987) observaram que o aumento de ferro de 500 para 800 mg kg<sup>-1</sup> reduziu o teor de cobre no fígado de 134 para 16 mg kg<sup>-1</sup> MS num período de oito semanas.

Tabela 14. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) de teores microminerais da planta de palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo

FC <sup>a</sup>	Nutri <sup>b</sup>	Equações de regressão <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>
A	Cu	$Y = 0,02507 + 0,0001074^{**} N$	0,34
	Fe	$Y = 165,287 - 0,8545^{**} P + 0,004042^{**} P^2$	0,35
	Mn	$Y = 307,643 + 0,3825^{\circ} N$	0,13
B	Cu	$Y = 0,014 + 4,76 \cdot 10^{-4} N + 2,02 \cdot 10^{-6} N^2 + 2,01 \cdot 10^{-4} P + 3,56 \cdot 10^{-6} P^2 - 8,43 \cdot 10^{-6} NP$	0,80
	Fe	$Y = 43,9319 + 0,09494N + 0,006434^{**} N^2 + 0,5232^{*} P + 0,006638^{**} P^2 - 0,01696^{***} NP$	0,59
	Mn	$Y = 453,320 - 3,2112^{**} N + 0,01869^{**} N^2 + 0,7288^{\circ} P$	0,65

<sup>a</sup>Frequência de colheita. <sup>b</sup>Nutrientes: Cu = Cobre (mg kg<sup>-1</sup> de MS); Fe = Ferro (mg kg<sup>-1</sup> de MS); Mn = Manganês (mg kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>c</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As doses de N e/ou P influenciaram positivamente o acúmulo de manganês (Mn) nos tecidos da palma forrageira nas duas frequências de colheita e nas duas localidades. Em Quixadá (Tabela 13), na colheita anual, foi verificado efeito quadrático positivo das doses de N, linear positivo das doses de P e interação negativa de N e P, com teor máximo verificado na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (570,75 mg kg<sup>-1</sup> de MS) e teor mínimo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 31,45|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (154,32 mg kg<sup>-1</sup> de MS). De forma semelhante, houve efeito quadrático positivo das doses de N e linear positivo das doses de P sobre o teor de Mn da palma forrageira na colheita bianual em Tejuçuoca (Tabela 14), embora não tenha sido constatada interação de N e P. Nesse último caso, o teor máximo de Mn também foi observado na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (561,55 mg kg<sup>-1</sup> de MS) e o teor mínimo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 85,91|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (322,68 mg kg<sup>-1</sup> de MS).

O teor de Mn na colheita bianual em Quixadá aumentou de forma quadrática em resposta às doses de N e P, com teor máximo obtido na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 124,30|69,10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (210,75 mg kg<sup>-1</sup> de MS) e o teor mínimo na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (134,09 mg kg<sup>-1</sup> de MS). Por outro lado, em Tejuçuoca, na colheita anual, as doses de P não influenciaram o teor de Mn da palma forrageira, mas houve aumento linear com as doses de N, sendo o teor máximo obtido na dose 190 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (380,32 mg kg<sup>-1</sup> de MS) e teor mínimo na dose 10 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (311,47 mg kg<sup>-1</sup> de MS).

Avaliando palma forrageira, Galizzi et al. (2004) não observaram uma relação entre os níveis de N e P no solo e o teor de manganês nos tecidos dos cladódios de palma forrageira, no entanto, constataram uma correlação positiva entre teor de nitrogênio e de manganês no

cladódio (0,55;  $P < 0,01$ ). No presente estudo, as doses de N e P influenciaram positivamente o teor de N nos cladódios da palma, o que pode ter resultado em aumento do teor de Mn.

A frequência de colheita não influenciou os teores de Cu e Fe da palma forrageira em Quixadá (Tabela 15), por outro lado, a colheita bianual diminuiu o teor de Mn. O maior teor de N da palma sob colheita anual pode ter contribuído para um maior teor de Mn (GALIZZI et al., 2004). O maior teor de Mn na colheita anual denota maior absorção desse elemento, o que pode ter reduzido a disponibilidade de Cu e Fe para as plantas (PRADO, 2008).

Tabela 15. Microminerais da planta de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá

Nutrientes <sup>1</sup>	Colheita <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P
	Anual	Bianual		
Cu	0,036 <sup>a</sup>	0,020 <sup>a</sup>	0,002	<0,0001
Fe	65,80 <sup>a</sup>	70,83 <sup>a</sup>	3,55	0,1110
Mn	238,68 <sup>a</sup>	183,11 <sup>b</sup>	11,05	0,0002

<sup>1</sup>Cu = Cobre (mg kg<sup>-1</sup> de MS); Fe = Ferro (mg kg<sup>-1</sup> de MS); Mn = Manganês (mg kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>2</sup>Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

Em Tejuçuoca (Tabela 16), a colheita bianual aumentou os teores de Cu e Mn e diminuiu o teor de Fe da palma forrageira. As melhores condições de crescimento da palma forrageira em Tejuçuoca alterou a dinâmica de acúmulo dos referidos elementos em relação ao observado em Quixadá.

Tabela 16. Microminerais da planta de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca

Nutrientes <sup>1</sup>	Colheita <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor-P
	Anual	Bianual		
Cu	0,036 <sup>b</sup>	0,056 <sup>a</sup>	0,003	<0,0001
Fe	129,96 <sup>a</sup>	77,58 <sup>b</sup>	8,23	<0,0001
Mn	347,17 <sup>b</sup>	436,49 <sup>a</sup>	21,17	0,0015

<sup>1</sup>Cu = Cobre (mg kg<sup>-1</sup> de MS); Fe = Ferro (mg kg<sup>-1</sup> de MS); Mn = Manganês (mg kg<sup>-1</sup> de MS). <sup>2</sup>Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

### 4.3 Degradação *in vitro* da matéria seca

#### 4.3.1 Produção cumulativa de gás

Em Quixadá (Figura 2), a colheita bianual atrasou o início da fermentação da palma forrageira, resultando em menor volume final da produção cumulativa de gás, quando comparada à colheita anual. Em Tejuçuoca (Figura 3), o volume final de gás foi semelhante entre as duas frequências de colheita. Entretanto, considerando o tempo de incubação de 48 horas, que representa o mesmo tempo de retenção média da digesta no rúmen, observa-se que

a palma forrageira é quase que completamente degradada até esse tempo, comportamento verificado em ambas as localidades, indicando que a palma forrageira se mantém um alimento de alta qualidade fermentativa no rúmen, sendo uma fonte de forragem de excelente qualidade para uso na época seca. O volume final de gás após 144 horas de incubação variou em função das combinações de N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dentro de cada frequência de colheita em ambas as localidades.

O início da fermentação da palma forrageira foi atrasado nas condições de Quixadá. Em termos proporcionais, uma média de 90% do volume total de gás acumulado foi obtida em 48 horas de incubação na localidade de Quixadá e em apenas 22 horas na localidade de Tejuçuoca. Isso indica uma fermentação mais rápida e intensiva da palma forrageira cultivada em Tejuçuoca. Esse efeito pode aumentar o requerimento por proteína degradável no rúmen, uma vez que a palma forrageira é rica em carboidratos prontamente fermentados.

Os dados obtidos neste estudo corroboram com Batista et al. (2003b), ao observarem que mais de 80% da matéria seca da palma forrageira cv. Gigante desapareceu em até 48 horas de incubação ruminal.

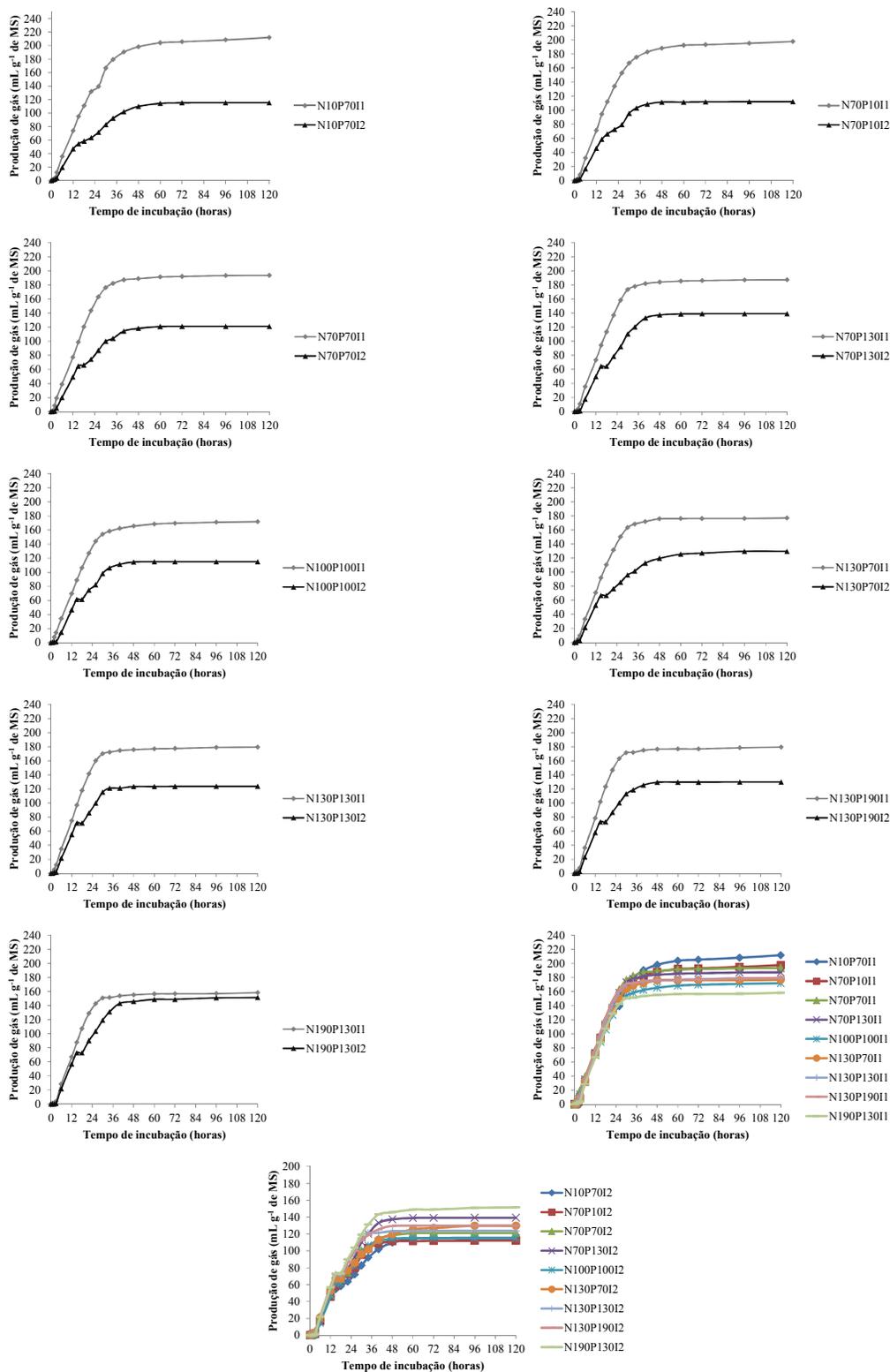


Figura 2. Produção total de gás da MS em função dos tempos de incubação da palma forrageira cv. Gigante cultivada em Quixadá sob diferentes combinações de nitrogênio (N)|fósforo (P): N10P70; N70P10; N70P70; N70P130; N100P100; N130P70; N130P130; N130P190 e N190P130; e frequências de colheita: anual (I1) e bianual (I2).

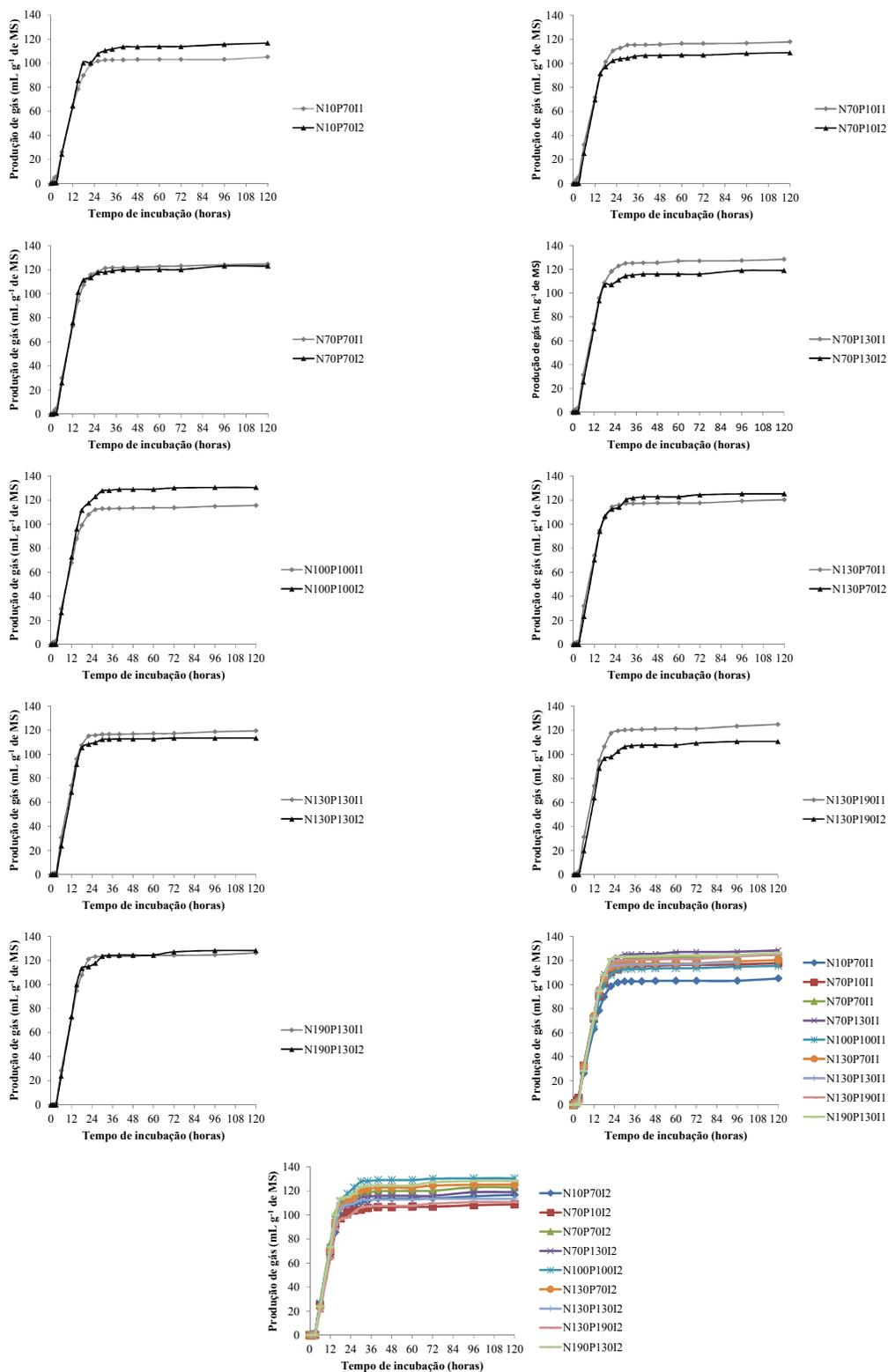


Figura 3. Produção total de gás da MS em função dos tempos de incubação da palma forrageira cv. Gigante cultivada em Tejuçuoca sob diferentes combinações de nitrogênio (N)|fósforo (P): N10P70; N70P10; N70P70; N70P130; N100P100; N130P70; N130P130; N130P190 e N190P130; e frequências de colheita: anual (I1) e bianual (I2).

### 4.3.2 Parâmetros cinéticos de degradação *in vitro*

As doses de N e P favoreceram a produção total de gás (A) da palma forrageira na colheita bianual em Quixadá (Tabela 17) e em ambas as colheitas em Tejuçuoca (Tabela 18). Em Quixadá, na colheita bianual, houve efeito quadrático positivo das doses de N, efeito linear positivo das doses de P e interação negativa de N e P, sendo a máxima produção total de gás obtida na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (173,69 mL g<sup>-1</sup> de MS). Em Tejuçuoca, na colheita anual, houve aumento linear da produção total de gás em resposta às doses de N, com máxima produção na dose 190 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (126,55 mL g<sup>-1</sup> de MS); na colheita bianual, além do aumento linear da produção total de gás em função das doses de N, houve efeito quadrático negativo das doses de P, com máxima produção na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|92,09 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (128,97 mL g<sup>-1</sup> de MS). Por outro lado, a produção total de gás da palma forrageira na colheita anual em Quixadá reduziu de forma linear com as doses de N, sendo o valor máximo estimado na dose 10 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (214,63 mL g<sup>-1</sup> de MS).

Tabela 17. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) dos parâmetros cinéticos da planta de palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Quixadá, em função das doses de nitrogênio e fósforo

FC <sup>a</sup>	PC <sup>b</sup>	Equações de regressão <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>
	A	Y = 217,6190 - 0,2991 <sup>**</sup> N	0,90
A	c	Y = 0,05052 + 0,0001412 <sup>***</sup> N + 0,00006060 <sup>o</sup> P	0,89
	L	Y = 2,3884 + 0,01270N + 0,0001948 <sup>*</sup> N <sup>2</sup> - 0,008298P + 0,0002373 <sup>**</sup> P <sup>2</sup> - 0,0004220 <sup>*</sup> NP	0,88
	A	Y = 98,3020 - 0,02795N + 0,002425 <sup>*</sup> N <sup>2</sup> + 0,4312 <sup>*</sup> P - 0,003421 <sup>o</sup> NP	0,73
B	c	Y = 0,07490 + 3,420 <sup>*</sup> 10 <sup>-5</sup> N - 4,184 <sup>*</sup> 10 <sup>-6</sup> <sup>**</sup> N <sup>2</sup> - 3,318 <sup>*</sup> 10 <sup>-4</sup> P - 2,417 <sup>*</sup> 10 <sup>-6</sup> <sup>*</sup> P <sup>2</sup> + 8,451 <sup>*</sup> 10 <sup>-6</sup> <sup>**</sup> NP	0,85
	L	Y = 3,48	--

<sup>a</sup>Frequência de colheita. <sup>b</sup>Parâmetros cinéticos: A = produção total de gás (mL g<sup>-1</sup> de MS); c = Taxa de digestão (% h<sup>-1</sup>); L = tempo de latência (L; horas). <sup>c</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

A adubação estimula o crescimento da palma (DUBEUX Jr. et al., 2006), o que favorece o surgimento de cladódios jovens, localizados principalmente no ápice da planta, que são ricos em proteína e pobres em constituintes da parede celular (SILVA et al., 2013). Ocorre, também, a maturação de cladódios basais, portanto, dependendo das condições de crescimento, a adubação pode aumentar ou diminuir a digestibilidade da palma. Teixeira et al. (1999), avaliando a cinética de digestão ruminal da MS de diferentes ordens de cladódios da palma forrageira em vacas e caprinos, observaram que cladódios mais jovens, principalmente quaternários, apresentaram maior degradabilidade efetiva que cladódios basais. Essa resposta foi associada a maiores teores de PB e a menores teores de FDN.

A produção de gás *in vitro* é o resultado do processo de fermentação do substrato (alimento ou dieta) pelos microrganismos presentes no inóculo de rúmen. Portanto, o aumento da produção de gás pode indicar maior fração de energia do alimento disponível para o

desempenho animal. Nesse sentido, os resultados obtidos no presente estudo indicam que a adubação pode ser utilizada como variável de manejo capaz de permitir maior eficiência de utilização da palma forrageira por animais que exigem uma maior demanda nutricional, o que permitiria maior participação da palma forrageira na dieta dos mesmos.

Tabela 18. Equações de regressão (Y) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos parâmetros cinéticos da planta de palma forrageira cv. Gigante com frequência de colheita anual (A) e bianual (B) em Tejuçuoca, em função das doses de nitrogênio e fósforo

FC <sup>a</sup>	PC <sup>b</sup>	Equações de regressão <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>
	A	$Y = 112,2980 + 0,0750^*N$	0,32
A	c	$Y = 0,1174 + 0,0001306^{**}N$	0,53
	L	$Y = 2,9120 + 0,005058^*N + 0,003344^{\circ}P$	0,85
	A	$Y = 100,7570 + 0,06532^*N + 0,3433^{***}P - 0,001864^{***}P^2$	0,72
B	c	$Y = 0,1612 + 0,0001720N - 0,000003107^{**}N^2 - 0,0005732^*P + 0,000005104^*NP$	0,42
	L	$Y = 3,5777 + 0,01398^*N - 0,00004758^*N^2$	0,86

<sup>a</sup>Frequência de colheita. <sup>b</sup>Parâmetros cinéticos: A = produção total de gás (mL g<sup>-1</sup> de MS); c = Taxa de digestão (% h<sup>-1</sup>); L = tempo de latência (L; horas). <sup>c</sup>\*\*\*, \*\*, \* e ° - indicam efeito significativo a 0,1; 1; 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As doses de N e P influenciaram positivamente a taxa de digestão (c) da palma forrageira nas duas frequências de colheita e nas duas localidades. Em Quixadá (Tabela 17), na colheita anual, a taxa de digestão aumentou linearmente com as doses de N e P. Nessas condições, a máxima taxa de digestão foi verificada na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,0889 % h<sup>-1</sup>); na colheita bianual, houve efeito quadrático das doses de N e P e interação positiva de N e P, com máxima taxa de digestão na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 14,19|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,0722 % h<sup>-1</sup>). Em Tejuçuoca (Tabela 18), na colheita anual, a taxa de digestão da palma forrageira aumentou linearmente com as doses de N, sendo verificada máxima taxa de digestão na dose 190 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,1422 % h<sup>-1</sup>); na colheita bianual, foi observado efeito quadrático negativo das doses de N, linear negativo das doses de P e interação positiva de N e P, com máxima taxa de digestão observada na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 35,89|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (0,159 % h<sup>-1</sup>).

O efeito positivo das doses de N e P sobre o crescimento e a qualidade da palma forrageira resultou em aumento da taxa de digestão, como observado para a produção total de gás. O estímulo a brotações de novos cladódios em resposta a melhores condições de crescimento pode aumentar a taxa de digestão da palma forrageira (TEIXEIRA et al., 1999). Nesse sentido, a maior taxa de digestão da palma forrageira em resposta à adubação pode reduzir o efeito de repleção ruminal, aumentando o consumo de matéria seca (VAN SOEST, 1994) e beneficiando a categoria animal com maior requerimento nutricional. Esse tipo de resposta pode ser potencializado nas condições de Tejuçuoca, onde houve maior taxa de degradação, quando comparada à Quixadá, sendo verificado aumento de 37% sob

colheita anual e de 54% sob colheita bianual. O maior teor de PB da palma forrageira em Tejuçuoca pode ter melhorado a digestão dos carboidratos estruturais devido ao maior suprimento de nitrogênio para os microrganismos ruminais (VAN SOEST, 1994), justificando o aumento da taxa de degradação nessas condições.

O tempo de latência (L) aumentou com as doses de N e P. Em Quixadá (Tabela 17), na colheita anual, houve efeito quadrático positivo das doses de N e P e interação negativa de N e P, sendo verificado menor tempo de latência na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|26,38 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (2,37 horas). As doses de N e P não influenciaram o tempo de latência da palma forrageira na colheita bianual em Quixadá. Em Tejuçuoca (Tabela 18), na colheita anual, houve efeito linear positivo das doses de N e P sobre o tempo de latência da palma forrageira, sendo constatado menor tempo de latência na combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 10|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (3 horas); na colheita bianual, houve efeito quadrático negativo das doses de N, com menor tempo de latência na dose 10 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (3,71 horas).

Um maior tempo de latência é indicativo de dificuldade de acesso dos microrganismos ao substrato, o que pode ocasionar menor taxa de digestão, principalmente da fração fibrosa (MERTENS e LOFTEN, 1980). Segundo Mertens (1997), a fibra representa a fração lentamente digestível, ou indigestível, e que ocupa espaço no trato gastrointestinal, inclui a celulose e a hemicelulose. Nesse sentido, o aumento do teor de FDN com as doses de N e P pode ter resultado em um maior tempo de colonização. Muniz et al. (2011) observaram que à medida que se aumentou o tempo de colonização, a taxa de degradação e o volume total de gás diminuiu. No entanto, esse comportamento não foi observado no presente estudo, uma vez que o maior tempo de colonização obtido com maiores níveis de N e P foi associado à maior produção total de gás e taxa de digestão. Isso pode estar relacionado com um baixo teor de lignina e alto teor de carboidratos não-fibrosos da palma forrageira (BATISTA et al., 2003b), o que pode ter compensado o aumento do tempo de colonização e não ter comprometido a degradação ruminal da palma forrageira com as doses de N e P.

A colheita bianual reduziu a produção total de gás e a taxa de degradação da palma forrageira em Quixadá (Tabela 19). O teor de PB da palma forrageira sob colheita bianual em Quixadá foi 34% menor (Tabela 7) do que o mínimo necessário para a função normal do rúmen (VAN SOEST, 1994), o que pode ter limitado o crescimento microbiano e, conseqüentemente, reduzido a degradação ruminal da palma forrageira. O tempo de latência não foi influenciado pela frequência de colheita em Quixadá.

Tabela 19. Parâmetros cinéticos da planta de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Quixadá

Parâmetros <sup>1</sup>	Colheita <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor de P
	Anual	Bianual		
A	186,48 <sup>a</sup>	129,38 <sup>b</sup>	7,55	<0,0001
c	0,072 <sup>a</sup>	0,059 <sup>b</sup>	0,003	<0,0001
L	3,60 <sup>a</sup>	3,48 <sup>a</sup>	0,16	0,555

<sup>1</sup>A = Produção total de gás (mL g<sup>-1</sup> de MS); c = Taxa de digestão (% h<sup>-1</sup>); L = Tempo de latência (horas). <sup>2</sup>Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem (P>0,05) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

Em Tejuçuoca (Tabela 20), a produção total de gás não variou em função da frequência de colheita, provavelmente, reflexo da ausência de efeito da frequência de colheita sobre o teor de PB (Tabela 8). Nessa condição, o teor de PB apresentou-se acima do mínimo necessário para a função normal do rúmen em ambas as frequências de colheita.

A taxa de digestão da palma foi maior sob colheita bianual em Tejuçuoca. Segundo Van Soest (1994), a deficiência, excesso e disponibilidade de nutrientes pode determinar a velocidade com que o alimento é aproveitado pelo animal. Nesse contexto, carboidratos solúveis são fermentados mais rapidamente que carboidratos de reserva, como o amido, que, por sua vez, é mais rapidamente degradado que carboidratos estruturais. No presente estudo, o aumento da taxa de digestão da palma em Tejuçuoca foi associado à redução do teor de MST e aumento da FDN, demonstrando que, possivelmente, esse efeito tenha sido reflexo da alteração da composição de carboidratos não-fibrosos.

Tabela 20. Parâmetros cinéticos da planta de palma forrageira cv. Gigante em função da frequência de colheita (anual e bianual) em Tejuçuoca

Parâmetros <sup>1</sup>	Colheita <sup>2</sup>		EPM <sup>3</sup>	Valor de P
	Anual	Bianual		
A	119,22 <sup>a</sup>	119,18 <sup>a</sup>	1,69	0,980
c	0,120 <sup>b</sup>	0,132 <sup>a</sup>	0,003	0,005
L	3,32 <sup>b</sup>	4,06 <sup>a</sup>	0,15	<0,0001

<sup>1</sup>A = Produção total de gás (mL g<sup>-1</sup> de MS); c = Taxa de digestão (% h<sup>-1</sup>); L = Tempo de latência (horas). <sup>2</sup>Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem (P>0,05) pelo teste de Tukey. <sup>3</sup>Erro padrão da média.

O tempo de latência da palma em Tejuçuoca foi maior na colheita bianual. Possivelmente, o maior teor de FDN observado na colheita bianual resultou em maior tempo de colonização, uma vez que a fração fibrosa é de mais difícil digestão (MERTENS, 1997). Contudo, o maior acúmulo de FDN não foi suficiente para reduzir a taxa de digestão da palma forrageira. Nesse sentido, o baixo teor de lignina e o alto teor de carboidratos não-fibrosos da palma forrageira (BATISTA et al., 2003b) podem ter compensando o aumento em FDN.

## 5 CONCLUSÕES

O aumento das doses de P promovem redução do teor de MST de cladódios primários e secundários sob colheita bianual em Quixadá e de cladódios primários sob colheita anual em Tejuçuoca. Maiores doses de N aplicadas ao solo aumentam o teor de MST de cladódios primários na colheita bianual em Tejuçuoca. A adubação nitrogenada também melhora a qualidade dos cladódios sob colheita anual em ambas as localidades, contudo, sob colheita bianual, reduz a qualidade de cladódios primários em ambas as localidades e de cladódios secundários em Tejuçuoca. O maior teor de PB é obtido com cladódios terciários nas combinações N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 130,51|114,58 e 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> sob colheitas anual e bianual em Tejuçuoca, respectivamente.

O aumento das doses de P também promovem redução do teor de MST da planta inteira de palma forrageira sob colheita anual em ambas as localidades e sob colheita bianual em Tejuçuoca. Por outro lado, as maiores doses de N e P resultam em maior teor de MST sob colheita bianual em Quixadá, além de melhorar a qualidade da palma forrageira sob colheita bianual em ambas as localidades. A combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|190 maximiza o teor de PB da palma forrageira em Quixadá e a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 130,03|190 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> maximiza o teor de PB em Tejuçuoca, ambas sob colheita bianual.

As doses de N e P influenciam o teor de macro e microminerais da palma forrageira nas duas colheitas e nas duas localidades, o que permite reduzir a relação Ca:P para 9,72:1,00, com a combinação N|P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 190|10 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> sob colheita bianual em Tejuçuoca. De modo geral, o aumento das doses de N e P resulta em maior teor de S e Mn. A palma forrageira também se mostrou rica em Ca, K e Fe e deficiente em P e Cu.

As maiores doses de N e P resultam em maior digestibilidade da palma forrageira nas duas frequências de colheita e nas duas localidades, uma vez que a produção total de gás e a taxa de digestão são maximizadas nessa condição.

A colheita anual melhora a qualidade de cladódios primários e secundários em Quixadá e de cladódios secundários e terciários em Tejuçuoca. Em relação à planta inteira de palma forrageira, a colheita anual também melhora a qualidade nas condições de Quixadá. Entretanto, a frequência de colheita apresenta menor influência sobre a qualidade da palma forrageira em Tejuçuoca, o que corresponde à falta de efeito sobre a produção total de gás e à maior taxa de digestão da palma forrageira sob colheita bianual nessa localidade. Em Tejuçuoca, os teores de Mg, Cu e Mn são menores sob colheita anual. O teor de S é menor sob colheita anual em ambas as localidades.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, D.; ROUZBEHAN, Y.; REZAEI, J. Effect of harvest date and nitrogen fertilization rate on the nutritive value of amaranth forage (*Amaranthus hypochondriacus*). **Animal Feed Science and Technology**, v.171, n.1, p.6-13, 2012.

ACEVEDO, E.; BADILLA, I.; NOBEL, P.S. Water relations, diurnal acidity changes, and productivity of a cultivated cactus. *Opuntia ficus-indica*. **Plant Physiology**, v.72, n.3, p.775-780, 1983.

ANDRADE, A.P. Produção animal no bioma caatinga: Paradigma dos “pulsos-reservas”. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. p.138.

ANDRADE, A.P.; COSTA, R.G.; SANTOS, E.M.; SILVA, D.S. Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.4, n.4, p.01-14, 2010.

ANDRADE, D.K.B.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, A.S.C.; WANDERLEY, W.L.; SILVA, L.E.; CARVALHO, F.F.R.; ALVES, K.S.; MELO, W.S. Digestibilidade e absorção aparentes em vacas da raça holandesa alimentadas com palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2088-2097, 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official methods of analysis. 15. ed. Arlington: AOAC International, 1990. 1117p.

BARRETO, G.P.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. Avaliação de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e de um híbrido com o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) submetidos a estresse hídrico. 2. Valor nutritivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.7-11, 2001.

BATISTA, A.M.V.; MUSTAFA, A.F.; SANTOS, G.R.A.; CARVALHO, F.F.R.; DUBEUX Jr, J.C.B.; LIRA, M.A.; BARBOSA, S.B.P. Chemical composition and ruminal dry matter and crude protein degradability of spineless cactus. **Journal Agronomy and Crop Science**, v.189, n.2, p.123-126, 2003a.

BATISTA, A.M.V.; MUSTAFA, A.F.; MCALLISTER, T.; WANG, Y.; SOITA, H.; MCKINNON, J.J. Effects of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.83, n.5, p.440-445, 2003b.

BATISTA, Â.M.V.; RIBEIRO NETO, A.C.; LUCENA, R.B.; SANTOS, D.C.; DUBEUX JR., J.B.; MUSTAFA, A.F. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, v.62, n.3, p.297-301, 2009.

BUXTON, D.R. Quality-related characteristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors. **Animal Feed Science and Technology**, v.59, n.1-3, p.37-49, 1996.

CECATO, U.; PEREIRA, L.A.F.; JOBIM, C.C.; MARTINS, E.N.; BRANCO, A.F.; GALBEIRO, S.; MACHADO, A.O. Influência das adubações nitrogenada e fosfatada sobre a composição químico-bromatológica do capim Marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf cv. Marandu). **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, v.26, n.3, p.409-416, 2004.

DONATO, P.E.R. **Características morfológicas, de rendimento e nutricionais da palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco**. 2011. 134f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Programa de pós-graduação em zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.

DONATO, P.E.R.; PIRES, A.J.V.; DONATO, S.L.R.; SILVA, J.A.; AQUINO, A.A. Valor nutritivo da palma forrageira ‘gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, v. 27, n.1, p.163–172, 2014.

DUBEUX Jr, J.C.B.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIMA, L.E.; FERREIRA, R.L.C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, n.3, p.357-372, 2006.

DUBEUX Jr, J.C.B.; ARAÚJO FILHO, J.T.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; Santos, D.C.; PESSOA, R.A.S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira - Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.5, n.1, p.129-135, 2010.

FARIAS, I.; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C.; TAVARES FILHO, J.J.; SANTOS, M.V.F.; FERNANTES, A.P.M.; SANTOS, V.F. 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.342-347, 2000.

FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; DHANOA, M.S.; LOPEZ, S.; BANNINK, A. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed in vitro: derivation of models and other mathematical considerations. **British Journal of Nutrition**, v.83, n.2, p.143-150, 2000.

GALIZZI, F.A.; FELKER, P.; GONZÁLEZ, C.; GARDINER, D. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in Argentina. **Journal of Arid Environments**, v.59, n.1, p.115-132, 2004.

GARCÍA-CIUDAD, A.; RUANO-RAMOS, A.; VÁZQUEZ de ALDANA, B.R.; GARCÍA-CRIADO, B. Interannual variations of nutrient concentrations in botanical fractions from extensively managed grasslands. **Animal Feed Science and Technology**, v.66, n.1-4, p.257-269, 1997.

GEBREMARIAM, T.; MELAKU, S.; YAMI, A. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.131, n.1-2, p.42-51, 2006.

GOMIDE, J.A.; ZAGO, C.P.; RIBEIRO, A.C.; BRAGA, J.M.; MARTINS, O. Calagem e fontes de fósforo no estabelecimento e produção de capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.) no cerrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 15, n.2, p. 241-246, 1986.

GONZÁLEZ, C.L. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimerii* Engelm.). **Journal of Arid Environments**, v.16, n.1, p.87-94, 1989.

RONQUILLO, MG.; FONDEVILA, M.; URDANETA, AB.; NEWMAN, Y. *In vitro* gas production from buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) fermentation in relation to the cutting interval, the level of nitrogen fertilization and the season of growth. **Animal Feed Science and Technology**, v.72, n.1-2, p.19-32, 1998.

HALL, M.B.; LEWIS, B.A.; VAN SOEST P.J.; CHASE, L.E. A simple method for estimation of neutral detergent-soluble fibre. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.74, n.4, p.441-449, 1997.

HERNÁNDEZ, M.; CÁRDENAS, M. Estudio del efecto residual del fertilizante fosfórico aplicado a la Guinea Likoni. **Pastos y Forrages**, v.13, n.2, p.165-70, 1990.

KOPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Ceres Ltda. 2006. 638p.

McDOUGAL, E.I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, v.43, n.1, p.99-109, 1949.

MELO, A.A.S.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, A.S.C. et al. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira em dietas para vacas em lactação. Digestibilidade. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.25, n.2, p.339-345, 2003a.

MELO, A.A.S., FERREIRA, M.A., VÉRAS, A.S.C., LIRA, M.D.A., LIMA, L.E., VILELA, M.S., MELO, E.O.S., ARAÚJO, P.R.B., 2003. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) em dietas para vacas em lactação. I. Desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.3, p.727-736, 2003b.

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.7, p.1463-1481, 1997.

MERTENS, D.R.; LOFTEN, J.R. The effects of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.63, n.9, p.1437-1446. 1980.

MISTURA, C.; FONSECA, D.M.; MOREIRA, L.M.; FAGUNDES, L.J.; MORAIS, R.V.; QUEIROZ, A.C.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I. Efeito da adubação nitrogenada e irrigação sobre a composição químico-bromatológica das lâminas foliares e da planta inteira de capim-elefante sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.6, p.1707-1714, 2007.

MUNIZ, E.B.; MIZUBUTI, I.Y.; PEREIRA, E.S.; PIMENTEL, P.G.; RIBEIRO, E.L.A.; ROCHA JÚNIOR, J.N.; CAPELARI, M.G.M.; BRITO, V.M. Cinética de degradação ruminal de carboidratos de volumosos secos e aquosos: técnica de produção de gases. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.3, p.1191-1200, 2011.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington: National Academy Press, 333p. 2001.

NEFZAOU, A.; BEN SALEM, H. **Opuntia spp. - a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the Wana region**. Rome, Italy: FAO Plant Protection and Production Paper 169. 2002, p. 73–89.

NERD, A.; MIZRAHI, Y. Effect of nitrogen fertilization and organ removal on rebudding in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. **Scientia Horticulturae**, v.59, n.2, p.115-122, 1994.

NERD, A.; NOBEL, P.S. Accumulation, partitioning, and assimilation of nitrate in *Opuntia ficus-indica*. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.12, p.2533-2549, 1995.

NOBEL, P.S.; RUSSEL, L.E.; FELKER, P.; FERNANDES, A.P.M.; FREITAS, E.V.; MOREIRO, J.A.; MEDINA, J.G.; ACUNÃ, E. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. **Agronomy Journal**, v.79, n.3, p.550-555, 1987.

NOBEL, P.S. Biologia ambiental. In: **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. FAO, 1995. SEBRAE-PB. p.36-48. 216p. 2001a.

NOBEL, P.S. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. (Ed.) **Cactus (*Opuntia spp.*) as forage**. FAO, 2001, p.13-20, 2001b.

OLIVEIRA, I.P.; CASTRO, F.G.F.; MOREIRA, F.P. PAIXÃO, V.V.; CUSTÓDIO, D.P.; SANTOS, R.S.M.; FARIA, C.D.; COSTA, K.A.P. Efeitos qualitativo e quantitativo da aplicação de fósforo no capim-tanzânia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.30, n.1, p.37-41, 2000.

PELL, A.N. SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.

PEREIRA, E.S.; PIMENTEL, P.M.; DUARTE, L.S. MIZUBUTI, I.Y.; ARAÚJO, G.G.L.; CARNEIRO, M.S.S.; REGADAS FILHO, J.G.L.; MAIA, I.S.G. Determinação das frações protéicas e de carboidratos e estimativa do valor energético de forrageiras e subprodutos da agroindústria produzidos no nordeste brasileiro. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, n.4, p.1079-1094, 2010.

PEYRAUD, J.L.; ASTIGARRAGA, L. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. **Animal Feed Science and Technology**, v.72, n.3-4, p.235–259, 1998.

PHILLIPPO, M.; HUMPHRIES, W.R.; GARTHWAITE, P.H. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status and growth in cattle. **Journal of Agricultural Science**, v.109, n.2, p.315–320, 1987.

PINOS-RODRIGUÉZ, J.M.; VELÁZQUEZ, J.C.; GONZÁLEZ, S.S. AGUIRRE, J.R.; GARCÍA, J.C.; ÁLVAREZ, G.; JASSO, Y. Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. **South African Journal of Animal Science**, v.40, n.3, 2010.

PIMIENTA-BARRIOS, E.; ZAÑUDO-HERNANDEZ, J.; ROSAS-ESPINOZA, V.C.; VALENZUELA-TAPIA, A.; NOBEL, P.S. Young Daughter Cladodes Affect CO<sub>2</sub> Uptake by Mother Cladodes of *Opuntia ficus-indica*. **Annals of Botany**, v.95, n.2, p.363-369, 2005.

PRADO, R.M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: Funep, 2008. 500p.

REID, R.L., STRACHAN, N.H. The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of the herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover. **Journal of Agricultural Science**. v.83, p.393–401, 1974.

RIBEIRO, E.M.O.; SILVA, N.H.; LIMA FILHO, J.L.; BRITO, J.Z.; SILVA, M.P.C. Study of carbohydrates present in the cladodes of *Opuntia ficus-indica* (fodder palm), according to age and season. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.4, p.933-939, 2010.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1. Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.

SANTANA, D.F.Y.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; FERREIRA, M.A.; SILVA, M.J.A.; MARQUES, K.A.; MELLO, A.C.L.; SANTOS, D.C. Caracterização da caatinga e da dieta de novilhos fistulados, na época chuvosa, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.1, p.69-78, 2011.

SANTOS, M.V.F.; FERREIRA, M.A.; BATISTA, A.M.V. Valor nutritivo e utilização da forrageira na alimentação de ruminantes. In: MENEZES, R.S.C; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, EV.S.B. (Eds.). **A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, 2005. p.143-162.

SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; ARRUDA, G.P.; COELHO, R.S.B.; DIAS, F.M.; WARUMBY, J.F.; MELO, J.N. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco: cultivo e utilização**. Recife: IPA, 2002. 45p. (IPA. Documentos).

SAMPAIO, E.V.S.B. Fisiologia da palma. In: MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. (Ed.) **A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Universitária: UFPE, 2005, p.43-55.

SARWAR, M.; KHANB, MAHR-UN-NISA.; SAEEDB, M,N. Influence of nitrogen fertilization and stage of maturity of mottgrass (*Pennisetum purpureum*) on its composition, dry matter intake, ruminal characteristics and digestion kinetics in cannulated buffalo bulls. **Animal Feed Science and Technology**, v.82, n.1-2, p. 121-130, 1999.

SAS INSTITUTE. **SAS System for Windows**. Version 9.0. Cary: SAS Institute Inc. 2003. 2 CD-ROMs.

SILVA, J.A.; BONOMO, P.; DONATO, S.L.R.; PIRES, A.J.V.; ROSA, R.C.C.; DONATO, P.E.R. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, suppl., p.866-875, 2012.

SILVA, J.A.; BONOMO, P.; DONATO S.L.R.; PIRES, A.J.V.; SILVA, F.F.; DONATO, P.E.R. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.2, p.242-350, 2013.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.

SOUSA, J.C.; CONAAD, J.H.; MOTT, G.O.; MCDOWELL, L.R.; AMMERMAN, C.; BLUE, W.G. Interpelações entre minerais no solo, plantas forrageiras e tecido animal no norte de Mato Grosso 4. zinco, magnésio. sódio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.17, n.1, p.11-20, 1982.

SOUZA, E.M.; ISEPON, O.J.; ALVES, J.B. et al. Efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a massa de forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1146-1155, 2005.

SPEARS, J.W., HARVEY, R.W. Lasalocid and dietary sodium and potassium effects on mineral metabolism, ruminal volatile fatty acids and performance of finishing steers. **Journal of Animal Science**, v.65, n.3, p.830–840, 1987.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 4ª edição. Sinauer, Sunderland, MA. 2006.

TEGEGNE, F. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* as a ruminant feed in ethiopia. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. (Ed.) **Cactus (*Opuntia* spp.) as forage**. Rome, Italy: FAO, 2001, p.91-99.

TEGEGNE, F.; KIJORA, C.; PETERS, K.J. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. **Small Ruminant Research**. v.72, n.2-3, p.157-164, 2007.

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.

TELES, M.M.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; LIRA, M.A.; FERREIRA, R.L.C.; NETO, E.B.; 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 (Supl. 2).

TITGEMEYER, E.C.; COCHRAN, R.C.; TOWNE, E.G.; ARMENDARIZ, C.K.; OLSON, K.C. Elucidation of factors associated with the maturity-related decline in degradability of big bluestem cell wall. **Journal of Animal Science**, v.74, n.3, p.648–657, 1996.

TOSTO, M.S.L.; ARAÚJO, G.G.L.; OLIVEIRA, R.L.; BAGALDO, A.R.; DANTAS, F.R.; MENEZES, D.R.; CHAGAS, E.C.O. Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.8, n.3, p. 239-249, 2007.

TURRENT FERNÁNDEZ, A.; LAIRD, R.J. La matriz experimental Plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. **Agrociência**, v. 9, n. 1, p. 117-143, 1975.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**, Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. **Analysis of forages and fibrous foods**. Ithaca: Cornell University, 1985. 202p.

VIEIRA, E.L.; BATISTA, Â.M.V.; GUIM, A.; CARVALHO, F.F.; NASCIMENTO, A.C.; ARAÚJO, R.F.S.; MUSTAFA, A.F. Effects of hay inclusion on intake, *in vivo* nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.141, n.3-4, p.199-208, 2008.

WANDERLEY, W.L.; FERREIRA, M.A.; ANDRADE, D.K.B.; VÉRAS, A.S.C.; FARIAS, I.; LIMA, L.E.; DIAS, A.M.A. Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na alimentação de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.273-281, 2002.

WARAMIT, N.; MOORE, K.J.; FALES, S.L. Forage quality of native warm-season grasses in response to nitrogen fertilization and harvest date. **Animal Feed Science and Technology**, v.174, n.1-2, p. 46-59, 2012.

WILSON, J.R.; KENNEDY, P.M. Plant and animal constraints to voluntary feed intake associated with fiber characteristics and particle breakdown and passage in ruminants. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, n.2, p.199-225, 1996.

WU, Z.; SATTER, L.D.; SOJO, R. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. **Journal of Dairy Science**, v.83, n.5, p.1042-1051, 2000.

## DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins acadêmicos do Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal Rural de Pernambuco que o abstract da tese intitulada **“AVALIAÇÃO QUÍMICA E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO *IN VITRO* DA PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES CULTIVOS NO SEMIÁRIDO DO BRASIL”** de autoria de Gil Mário Ferreira Gomes foi revisado pelo assinado abaixo.

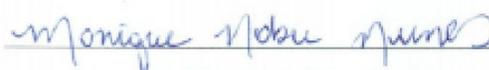
Curitiba, 14 de maio de 2016.

*Erica M. Takahashi de Alencar*  
Dra. Erica M. Takahashi de Alencar

**DECLARAÇÃO**

Declaro para os devidos fins acadêmicos do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará que a tese intitulada **“AVALIAÇÃO QUÍMICA E CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO *IN VITRO* DA PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES CULTIVOS NO SEMIÁRIDO DO BRASIL”** de autoria de Gil Mario Ferreira Gomes foi revisada pelo assinado abaixo.

Fortaleza, 25 de maio de 2016.



---

**Monique Nobre Nunes**  
Licenciada em Letras – UFC  
Nº do registro: 107198