10.30612/agrarian.v13i47.10621

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Análise multivariada da palma forrageira: características morfoprodutivas sob correlações canônicas

Multivariate analysis of forage cactus: canonical correlations on morphoproductive characteristics

Anderson Samuel Silva, Edson Mauro Santos, Isa Maria Y Pla Pinto, João Paulo De Farias Ramos

Departamento de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, CEP: 58.397-000 - Areia - PB - Rodovia BR 079 - Km 12,

Recebido em: 11/02/2019 Aceito em:08/02/2020

Resumo: O objetivo desse estudo foi verificar as correlações intergrupos morfológicos e produtivos da palma forrageira, através de análises multivariadas. O estudo foi realizado na estação experimental Benjamim Maranhão, localizada no município de Tacima-PB. O experimento obedeceu a um delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, composto por três tratamentos: frequências de colheitas semestral, anual e bienal. Pra a realização das correlações canônicas foi utilizada dois grupos de variáveis, sendo o grupo I composto por características morfológicas: número de cladódios (NC) e índice de área de cladódio (IAC) com o grupo II composto por características de rendimento produtivo: eficiência do uso da chuva (EUC), produtividade de matéria verde (PMV), produtividade de matéria seca (PMS), produção de água (PH_2O) e massa de forragem (MF). Todas as correlações canônicas foram elevadas e significativas a 1% de probabilidade, pelo teste de qui-quadrado, com 0,9700 e 0,9923 para o primeiro e segundo par canônico respectivamente, demostrando que os grupos analisados não são independentes. O IAC apresentou uma influência positiva sobre todas as variáveis dependentes (produtivas). Com o aumento do NC ocorreu uma redução da EUC, porém, ocorreu um incremento da PMV, PH_2O e MF. O NC e IAC apresentaram um coeficiente da matriz estrutural elevados para a PMS. As características produtivas são favorecidas e sofrem influência pelo IAC e NC, sendo correlacionadas positivamente.

Palavras-chave: coeficiente da matriz, *Nopalea cochinilifera*, par canônico, produção de água

Abstract: The objective of this study was to verify the morphological and productive intergroup correlations of forage cactus, through multivariate analysis. The study was conducted at Benjamim Maranhão experimental station, located in Tacima-PB. The experiment followed a randomized block design with three replications, consisting of three treatments: semiannual, annual and biennial harvest frequencies. To perform the canonical correlations, two groups of variables were used, being oup I composed of morphological characteristics: number of cladodes (NC) and cladode area index (CAI) with the group II composed of productive yield characteristics: rain use efficiency (RUE), green matter productivity (GMP), dry matter productivity (DMP), water production (H_2OP) and fodder mass (MF). All canonical correlations were high and significant at 1% probability by the chi-square test, with 0.9700 and 0.9923 for the first and second canonical pair respectively, demonstrating that the analyzed groups are not independent. The CAI had a positive influence on all dependent (productive) variables. With the increase of NC there was a reduction of the RUE, however, there was an increase of GMP, H_2OP and FM. The CN and CAI presented a high structural matrix coefficient for the DMP. The productive characteristics are favored and influenced by the CAI and NC, being positively correlated.

Key words: Matrix coefficient, *Nopalea cochinilifera*, canonical pair, water production

Introdução

Uma análise de correlação canônica (ACC) caracteriza-se por apresentar e retratar as correlações multivariadas, podendo examinar as relações entre dois grupos e/ou conjunto de variáveis (X e Y), dessa forma identificando a magnitude e o sentido (Abreu e Vetter, 1978).

Essas correlações ocorrem entre combinações lineares, de forma que essas sejam a máxima possível. O que sugere uma correlação única, ou seja, não existirá outra combinação com essa característica.

A ACC pode servir como uma ferramenta de grande importância pois pode determinar a melhor combinação linear de dois grupos de variáveis que possui alta correlação medindo a existência e intensidade das relações entre os grupos. Uma dada pesquisa pode obter grandes quantidades de variáveis, porém, o pesquisador possui interesse em analisar apenas um pequeno grupo delas, optando então em avaliar as combinações lineares com elevadas correlações, além disso as ACC permitem realizar as analises com variáveis de escalas diferentes, determinando uma vantagem que essa técnica possui. Dessa maneira, Kendal (1980), conclui que a ACC é uma técnica cuja avaliação é interdependente entre os grupos existentes de variáveis. De forma geral a ACC consiste da seguinte forma:

Considere dois grupos de variáveis X e Y, onde:

X= (x1, x2...xp), determinado como o vetor das medidas de "p" das características das variáveis independentes, e

Y= (y1, y2...yq) constitui o vetor das medidas de "q" dos caracteres das variáveis dependentes.

Para a ferramenta estatística a ACC estima a máxima correlação entre os grupos das variáveis independentes e dependentes, além de estimar os coeficientes das características de cada grupo avaliado (Cruz e Regazzi, 1994).

A interpretação dos resultados ainda é um entrave para as ACC, pensando nisso, algumas medidas de contornar esse problema foi desenvolvida para facilitar a identificação e interpretação pelo pesquisador, podendo diferenciar os tipos de correlações canônicas encontradas. Para contornar esse problema foi criada a matriz canônica de estruturação fatorial, onde tem por papel principal representar as correlações existente entre as variáveis canônicas e as originais (Abreu e Vetter, 1978).

Nas aplicações agronômicas existem diversos métodos de avaliar a influência de um grupo de caracteres sobre outro grupo (Queiroz, 2011). Na literatura existem poucos trabalhos com a aplicação da análise de correlações canônicas na palma forrageira (*Nopalea cochinilifera* Salm Dyck) avaliando a relação de dependência entre grupos de variáveis morfológicas e rendimento produtivo, visto que a palma é uma importante fonte alimentar (volumoso energético e água) para os animais, principalmente para os mantidos em regiões com baixos índices de precipitações pluviométricas. Essa planta forrageira apresenta metabolismo ácido das crassulaceae (CAM), conferindo maior adaptação as condições de déficit hídrico devido a abertura dos estômatos ocorrer no período noturno, fazendo com que a perda de água para o meio seja menor, o que configura melhor eficiência de uso da mesma (Luttge, 2010).

Diante desse contexto, objetivou-se com esse estudo avaliar a correlação canônica entre as variáveis morfológicas (grupo l) com as variáveis de rendimento produtivo (grupo ll) da palma forrageira no agreste paraibano.

Material e Métodos

O estudo foi realizado, em condições de campo, na estação experimental Benjamim Maranhão, localizada no município de Tacima-PB, pertencente a Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMEPA) situada na Mesorregião do Agreste paraibano. O clima é tropical semiárido, com chuvas de verão. A pluviometria média anual é de 626 mm, temperatura média anual de 24,8 ºC, com clima BSh segundo a classificação de Koppen, altitude de 188m acima do nível do mar. As coordenadas geográficas são 6º 29' 16" S, 35º 38' 13" W, onde foi conduzido sob condições de sequeiro.

O experimento obedeceu a um delineamento em blocos ao acaso (DBC), com três repetições, composto por três tratamentos: frequências de colheitas semestral (somatório de quatro colheitas semestrais), anual (somatório de duas colheitas anuais) e bienal (uma colheita bienal) após o corte de uniformidade, que foi realizado em janeiro de 2017, no segundo ciclo produtivo do palmal. A variedade Palmepa-PB01 (*Nopalea cochinilifera* Salm Dyck) foi cultivada em fileiras simples. As plantas foram espaçadas em dimensionamento de 1,0 m x 0,50 m para o cultivo, e parcelas de 28m² cada, sendo 20m² a

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

área útil da parcela e 8m² de bordadura, com uma densidade de plantio de 20.000 plantas ha^{-1}.

Foi coletada amostra do solo da área experimental na camada de 0 - 20cm de profundidade para avaliação das características químicas no início do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental, Tacima-PB, Brasil, 2017

pH	P	S-SO_4^{-2}	K^+	Na^+	$H+Al^{+3}$	Al^{+3}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	SB	MO	CTC
$H_2O_{(1:2,5)}$	-------mg/dm³----------			----------			cmol$_c$----------			g/Kg	
5,1	73,95	-	38,30	0,17	2,82	0,25	2,15	1,92	4,34	10,27	7,16

SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; MO = matéria orgânica

Foram realizadas duas adubações químicas de acordo com a densidade de plantio e ciclo da palma, através do manual de recomendação para palma forrageira (Opuntia sp. e Nopalea sp.) proposta para o estado de Pernambuco definida por Santos et al. (2008), e em seguida realizada a adubação mineral de NPK com 100, 60 e 100 kg.ha^{-1} usando como fonte ureia, supersimples e cloreto de potássio, respectivamente. O solo foi classificado como Planossolo háplico eutrófico solódico (SXe) segundo a classificação da EMBRAPA (1999).

Para o estabelecimento da palma, foi feito o plantio de um cladódio por cova, em posição vertical, realizado no terço final do período seco; para evitar o apodrecimento das raquetes pelo contato do solo úmido foram enterrados 2/3 da muda no solo. Quando necessário foram feitas capinas manuais para o controle de plantas de crescimento espontâneo.

Durante o período experimental foram monitoradas as condições meteorológicas de precipitação e temperatura (Figura 1).

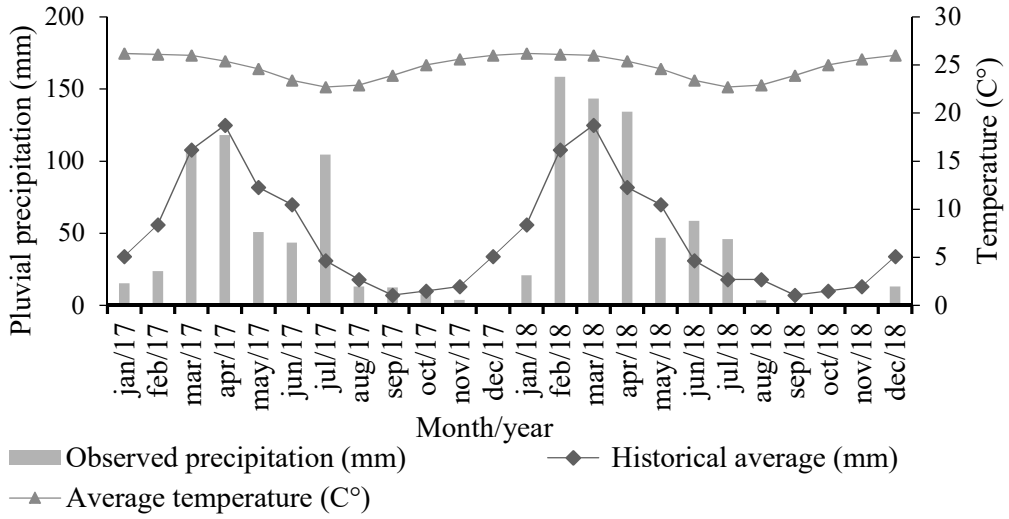

Figura 1. Precipitação pluvial mensal observadas na estação experimental Benjamim Maranhão (Fonte Emepa), normal climatológica e temperatura média mensal, Tacima-PB (Fonte: Climatempo)

Para o NC foi determinado através da contagem. Em seguida foi estimado a área dos cladódios (AC) de acordo com as equações propostas por Miranda et al. (2011), que calibraram modelos lineares (AC = a x + b). Esses autores encontraram os respectivos valores para os coeficientes "a" e "b" de 0,6972 e 19,3890 para a espécie do gênero Nopalea spp. e 0,7927 e -29,1373 para espécie do gênero Opuintia spp., sendo que "x" corresponde a variável

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

independente, obtida pelo produto entre o comprimento e a largura dos cladódios (CC x LC). A partir da área do cladódio e do espaçamento das plantas, entre as fileiras e plantas, estima-se o índice de área do cladódio (IAC, $m^2\ m^{-2}$): em que:

$$IAC = \sum_{n}^{i=1} \frac{(AC)}{10000} / (E1\ x\ E2) \quad \textbf{Eq. 1}$$

Em que: 10.000 é o fator de conversão de cm^2 para m^2; e E1×E2 é o espaçamento entre fileira e plantas, conforme descrito por Pinheiro et al., 2014 (Eq. 1).

A eficiência de uso da chuva foi determinada pela relação entre a produtividade de matéria seca e a precipitação do período de crescimento. Em seguida, a produção de água em tonelada por hectare ($PH_2O\ ha^{-1}$), com base no teor de MS e produtividade de matéria verde por hectare em função de cada tratamento.

Para determinação da produção em massa verde (PMV) foram realizados os cortes das plantas por ocasião de cada colheita (semestral, anual e bianual após o corte de uniformidade), preservando-se um cladódio primário em cada planta, com o objetivo de manutenção do estande. Os cladódios seccionados foram pesados, obtendo-se a massa de forragem (MF). Foi considerado o peso médio das plantas da parcela. Multiplicou-se esse peso pelo número de plantas do estande, em um hectare, obtendo-se a produtividade em matéria verde por hectare (PMV).

A determinação do teor de matéria seca (MS) se deu por meio da pré-secagem em estufa a 65°C até peso constante (amostra seca ao ar), em seguida moída em peneira de 2 mm e secada em estufa a 105º C por 16 horas (amostra seca em estufa). A produtividade de matéria seca (PMS) foi determinada multiplicando-se a PMV pelos teores de MS.

Pra a realização das correlações canônicas foram utilizados dados reais proveniente do experimento, no intuito de identificar possíveis associações existentes entre dois grupos de variáveis, sendo o grupo I composto por características morfológicas (número de cladódios e índice de área do cladódio) com o grupo II composto por características de rendimento produtivo (produtividade de matéria verde e seca, produção de água e massa de forragem).

Nessa análise o grupo I representava o conjunto de variáveis independentes (x), e o grupo II representando as variáveis dependentes. Dessa maneira, foi possível verificar as correlações de cinco pares (cargas) de variáveis canônicas e suas respectivas matrizes estruturais. Previamente foram realizados testes de correlações simples lineares de Pearson entre as variáveis para identificar coeficientes com elevado grau, evitando erroneamente a multicolinearidade entre as características morfológicas e produtivas.

Para as análises foi utilizado as matrizes de correlação fenotípica no software computacional GENES (Cruz, 2013).

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados médios das variáveis analisadas. Os resultados encontrados corroboram com os dados normalmente encontrado na literatura usual. Observa-se que os coeficientes de variação apresentam valores elevados apenas para o índice de área do cladódio (IAC) e produtividade de matéria seca (PMS). Isso está relacionado a variabilidade dessas variáveis pela irregularidade hídrica que ocorreu durante as avaliações em função da frequência de colheita da palma forrageira.

A Tabela 3 apresenta as correlações canônicas e os pares canônicos estimados entre as características morfológicas (grupo I) e produtivos (grupo II) da palma forrageira. Observa-se que todas as correlações canônicas foram elevadas e significativas a 1% de probabilidade, pelo teste de qui-quadrado, com 0,9700 e 0,9923 para o primeiro e segundo par canônico respectivamente, demostrando que os grupos analisados são dependentes entre si.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 2. Valores médios para as características morfológicas e produtivas da palma forrageira

Frequência de colheita	Variável						
	NC	IAC	EUC	PMV	PMS	PH_2O	MF
Semestral	46,6	0,40	11,9	202	14,2	45,4	2,01
Anual	30,3	0,70	17,4	274	21,3	118	4,80
Bienal	21,6	1,20	16,5	136	19,0	117	4,90
Média	32,88	0,76	15,33	204	18,1	93,46	3,94
CV%	24,88	32,44	21,32	24,21	30,68	23,52	18,18

NC-número de cladódio; IAC-índice de área do cladódio; EUC-eficiência de uso da chuva; PMV-produtividade de matéria verde; PMS-produtividade de matéria seca; PH_2O-produção de água; MF-massa de forragem

Tabela 3. Correlações canônicas e pares canônicos entre as características dos grupos I e II

Variável	Fatores canônicos		
	Grupo	1°	2°
NC	I	0,0933	0,3578
IAC		0,9988	0,0484
EUC	II	0,6585	-0,7453
PMV		0,8127	0,5825
PMS		0,9951	0,0981
PH_2O		0,7548	0,6558
MF		0,7936	0,6083
ρ		0,9700	0,9923
χ^2		87,30	32,04
GL		10	4
p-valor		<0,0001	<0,0001

NC-número de cladódio; IAC-índice de área do cladódio; EUC-eficiência de uso da chuva; PMV-produtividade de matéria verde; PMS-produtividade de matéria seca; PH_2O-produção de água; MF-massa de forragem; ρ = correlação canônica, χ^2 = Qui-quadrado calculado, GL= graus de liberdade, *p-valor*= nível de significância

Para a variável independente (grupo l) o IAC apresentou uma influência positiva sobre todas as variáveis dependentes (grupo ll). Esse resultado é justificado pela associação do aumento do índice resultar em maior área de captação luminosa, melhorando a taxa fotossintética pelos cladódios, dessa forma influenciando o acúmulo de biomassa verde e seca da parte aérea da palma forrageira.

Palma mais produtivas apresentam maiores IAC, significa dizer que a maior eficiência que a planta teve em utilizar a água para produzir massa verde e seca aumenta a capacidade dos cladódios armazenar água (PH_2O). Dessa maneira, a medida morfológica de IAC pode ser uma informação importante, pois animais que consomem palma forrageira na dieta apresentam menor consumo de água.

Bem Salem et al., (1996), avaliando a dinâmica do consumo de água quando fornecida a ´palma forrageira na dieta para ovinos, verificaram uma redução do consumo de água de 2,4 l para 0,1 l da dieta controle e do tratamento com oferta de 300 g de MS por dia respectivamente. Esses resultados prova a importância da palma na produção animal no semiárido, devido a irregularidade e escassez hídrica por longos períodos do ano, e que o IAC pode ser um indicativo da produção de água pelos cladódios.

No segundo par canônico o NC (grupo l) apresentou influência sobre as variáveis produtivas (grupo ll). Com o aumento do NC ocorreu uma redução da EUC, porém, ocorreu o aumento da PMV, PH_2O e MF. Essa redução da eficiência de uso da chuva estar associada ao menor volume de chuva ocorrida no período experimental para produzir matéria seca, acarretando dessa maneira pouca influência sobre a PMS em função do NC.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Pinheiro et al. (2014), concluíram que as características morfológicas como o de NC apresentam elevadas correlações com a produção da palma forrageira, corroborando com as correlações canônicas do presente estudo. Isso ocorre principalmente devido ao rendimento da palma é necessário que a planta aumente a expansão de seus tecidos causando aumento no NC, acarretando uma interligação entre essas variáveis.

Ainda nas correlações canônicas do segundo par observa-se que ocorreu correlação positiva entre a variável independente NC e dependente PH_2O, possivelmente está relacionado ao crescimento da palma, pois a planta pode apresentar elevada capacidade de conversão de água em MF, principalmente devido ao aumento do NC proporciona um aumento na capacidade de armazenamento de água. Além dos resultados inerentes ao acúmulo de água, ocorre também o de nutrientes extraídos do solo ocasionando melhor eficiência fotossintética da palma refletindo maiores produções (Pinheiro et al., 2014).

A Tabela 4 apresenta os coeficientes da matriz estrutural ou matriz dos fatores canônicos, ou seja, a matriz de correlação entre as variáveis originais e as canônicas.

Tabela 4. Coeficientes da Matriz Estrutural entre o grupo I e II

Variável	Fatores canônicos		
	Grupo	1°	2°
NC	I	0,1550	0,9227
IAC		0,9602	0,0920
EUC	II	-0,0580	0,2290
PMV		0,7236	0,9820
PMS		0,9872	0,9923
PH_2O		0,0747	0,3843
MF		0,6580	0,9722

NC-número de cladódio; IAC-índice de área do cladódio; EUC-eficiência de uso da chuva; PMV-produtividade de matéria verde; PMS-produtividade de matéria seca; PH_2O-produção de água; MF-massa de forragem

Pelo o coeficiente da matriz estrutural verifica-se que as associações entre os grupos, sofre influência de:

i) Pelo primeiro par canônico (p=0,9700), apresenta uma associação do IAC da palma forrageira ao aumento da PMS, PMV e MF, e redução da EUC.

ii) E pelo segundo par canônico (p=0,9923), apresenta uma associação do NC com o aumento da PMS, PMV, MF e menos expressivo para a EUC e PH_2O.

Isso é possível provavelmente devido as novas unidades de cladódios que surgem produzindo mais fotoassimilados estimulando o crescimento e produção da palma. Fato observado por Cunha et al. (2012), que relataram que ocorre uma elevada correlação entre a taxa de surgimento de novos cladódios com o NC da planta.

Observa-se também que tanto o NC como o IAC apresentaram um coeficiente da matriz estrutural elevados para a PMS, possivelmente isso ocorreu devido as plantas que foram seccionadas na colheita possuírem grandes números de cladódios, porém eram pequenos, o que contribuíram para o maior acúmulo de MS.

As análises de correlações canônicas permitem afirma que os grupos não são independentes e que as características produtivas são favorecidas e sofrem influência do IAC e NC, sendo correlacionadas positivamente.

Referências

ABREU, M. A.; VETTER, D. A análise de relações entre conjuntos de variáveis na matriz geográfica: correlação canônica. In: FAISSOL, S. Tendências atuais na geografia urbano/regional:

teorização e quantificação. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. p. 133-144.

BEM SALEM, H., NEFZAOUI, A., ABDOULI, H., ORSKOV, E. R. Effect of increasing level spinelles cactos (*Opuntia ficus-indica* var.inermes) on intake and digation by sheep given straw-based diets. **Animal Science**, v.62, n.1, p.293-299,1996.

CLIMATEMPO (a). Portal Climatempo. Disponível em: <http://www.climatempo.com.br/climatologia/tacima-pb>. Acesso em: 02/11/2019.

CRUZ, C. D. Genes. A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v3, n. 35, 271-276, 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: UFV. Imprensa Universitária, 1994. 390 p.

CUNHA, D.N.F.V.; GOMES, E.S.; MARTUSCELLO, J.A.; AMORIM, P.L.; SaaaaaILVA, R.C.; FERREIRA, P.S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p.1156-1165, 2012.

CUNHA, M.V. **Utilização de parâmetros genéticos na seleção de clones de Pennisetum sp., Zona da Mata Seca de Pernambuco.** 2008. 92 f., Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Rural de Pernambuco, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília. 412p, 1999.

KENDALL, M. Multivariate analysis. [S. 1.]: Charles Griffing, 1980. 210 p.

LÜTTGE, U. Capacidade de plantas de metabolismo do ácido crassulaceano superar estresses interagentes em ambientes tropicais. **AoB Plantas**, v. 2010, n. 1, p. 1-15, 2010.

MIRANDA, K. R.; SILVA, T. G. F.; CRUZ NETO, J. F.; QUEIROZ, M. G.; LIRA, M. A. B.; SANTOS, J. E. O. Modelos de estimativa da área do cladódio de variedades de palma no Semiárido pernambucano. In: II **Congresso Brasileiro de Palma e outras Cactáceas**, 2011, Garanhuns-PE, 2011.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; CARVALHO, H.F.S.; SANTOS, J.E.O.; MORAIS, J.E.F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 939–947, 2014.

QUEIROZ, M.G. **Inter-relações entre variáveis meteorológicas e o crescimento de clones de palma forrageira.** Serra Talhada-PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2011. 51f. (Monografia em Agronomia). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.

SANTOS, D. C.; LIRA, M. A.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; MELLO, A. C. L. Palma forrageira. In: CAVALCANTI, F. J. A. (Coord.). Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3.ed. Recife: **Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA,** 2008. p.178.