

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO E RELAÇÕES COM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS¹

THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA^{2*}, JORGE TORRES ARAÚJO PRIMO², JOSÉ EDSON FLORENTINO DE MORAIS², WELLINGTON JAIRÓ DA SILVA DINIZ², CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA², MARIA DA CONCEIÇÃO SILVA³

RESUMO - Objetivou-se comparar o crescimento e a produtividade de três clones de palma forrageira, resistentes à cochonilha do Carmim, visando a identificação da contribuição das variáveis meteorológicas nas suas respostas ao ambiente Semiárido. Foram avaliados os clones IPA Sertânia (IPA), Miúda (MIU) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM) entre fevereiro de 2010 e fevereiro de 2012, em Serra Talhada (PE). Obteve-se dados morfológicos das plantas (altura e largura do dossel, número total de cladódios, número de cladódios por ordem de surgimento e índice de área do cladódio), dos cladódios (comprimento, largura, espessura, perímetro e área) e dos parâmetros produtivos da cultura (produtividade em matéria fresca e seca e densidade final de plantas por hectare). A análise de trilha foi aplicada para avaliar a influência das variáveis meteorológicas (radiação solar global, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica) no crescimento da palma forrageira. Verificou-se que a OEM e a IPA foram os clones que se destacaram na maioria das características morfológicas, mas em termos do número de cladódios a MIU foi o clone que possuiu maior emissão (> 35 unidades), no entanto se demonstrou como o menos produtivo em termos de massa fresca (117,5 t ha⁻¹), juntamente com o IPA. A OEM se sobressaiu como o clone mais produtivo (163,0 t ha⁻¹). Não houve diferença da produtividade em base seca entre os clones (12,6 ± 2,0 t ha⁻¹). A IPA apresentou maior mortalidade de plantas (10,4%). E as variáveis meteorológicas apresentaram baixo efeito sobre a evolução do crescimento da cultura (< 33,1%).

Palavras-chave: Análise de trilha. Clones resistentes à cochonilha do carmim. Elementos meteorológicos. *Opuntia* sp.. *Nopalea* sp.

GROWTH AND PRODUCTIVITY OF CACTUS FORAGE CLONES IN SEMIARID AND RELATIONSHIP WITH METEOROLOGICAL VARIABLES

ABSTRACT - The objective was to evaluate the performance of growth and productivity of three cactus forage clones, resistant to Cochineal Carmine, grown under irrigated conditions in the Brazilian semi-arid region. The clones evaluated were: IPA Sertânia (IPA), Miúda (MIU) and the Orelha Elefante Mexicana (OEM), between February 2010 and February 2012, in Serra Talhada, State of Pernambuco. To the end of the crop cycle morphological data were obtained from plants (canopy height and width, cladode total number, cladode number by order of emergence and cladode area index) and cladode (length, width, thickness, perimeter and area), and crop productive parameters (crop fresh and dry matter yield, and final density of plants per hectare). Path analysis was applied to evaluate the influence of meteorological variables (global solar radiation, air temperature and relative humidity, wind speed and rain) on the growth of cactus forage. It was found that the OEM and IPA were those who stood out most of the morphological characteristics. But, in terms of cladode number, the MIU is the clone of greater emission (> 35 units), however it has been demonstrated as the clone less productive in terms of fresh mass (117.5 t ha⁻¹), along with the IPA. The OEM stood out as the most productive clone (163.0 t ha⁻¹). However, there was no difference in productivity in dry basis between the clones (12.6 ± 2.0 t ha⁻¹). The IPA has the highest mortality of plants (10.4%). Meteorological variables showed effect lower on the evolution of crop growth (< 33.1%).

Keywords: Path analysis. Carmine cochineal resistant clones. Meteorological elements, *Opuntia* sp. *Nopalea* sp.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 03/03/2014; aceito em 29/01/2015.

Resultado de Projeto de Pesquisa financiado pela FACEPE/CNPq/IPA/CAPES/UFRPE.

²Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST/UFRPE, Caixa Postal 063, CEP 56900-000, Serra Talhada (PE), thieres_freire@yahoo.com.br, jorgetaprimo@hotmail.com, joseedson50@hotmail.com, wellingtonjairo@hotmail.com, carlosandre08_msn.com.

³Instituto Agrônomo de Pernambuco, BR 232, km 253, CEP 56500-000, Arcoverde (PE), mcsilvaforragem@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas que se baseia especialmente em plantas que utilizam os processos fotossintéticos C3 e C4 é comumente restrita nas regiões semiáridas. Com isso, algumas plantas com Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC), devido a sua alta eficiência no uso da água, acabam sendo uma ótima opção de aumento do rendimento agrícola nessas regiões. Dentre elas, de grande relevância agropecuária em várias regiões do planeta tem-se a palma, que possui ampla adaptação por causa das suas modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais em condições adversas (NEFZAOU; BEN SALEM, 2002; NOBEL; BOBICH, 2002; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os clones mais difundidos no Nordeste brasileiro eram a Redonda, Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill.) e a Miúda (*Nopalea cochenilifera* Salm-Dyck). Entretanto, apenas a Miúda é resistente a *Dactylopius Opuntia* (Cochonilha-do-carmim) (NEVES et al., 2010; VASCONCELOS et al., 2009). Por esse motivo, nos últimos anos a disseminação da praga acabou sendo um dos principais fatores limitantes ao cultivo daquela forrageira, o que promoveu uma redução substancial de palmas em toda região. Recentemente, estudos foram conduzidos visando selecionar clones resistentes. Assim, outros dois têm se destacado, a Orelha de Elefante Mexicana e a IPA Sertânia, ambas resistentes a cochonilha do Carmim (LOPES et al., 2010).

A palma forrageira por tradicionalmente ser uma cultura semiperene de colheita bienal, quando conduzida em condições de sequeiro, ao longo do seu ciclo produtivo pode sofrer modificações no crescimento e no desenvolvimento em resposta às alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente. Em muitos casos, apesar de pertencentes ao mesmo gênero, espécies de palma forrageira apresentam respostas distintas em diferentes condições de cultivo.

Vários estudos têm demonstrado o desempenho do crescimento e do rendimento de clones de palma forrageira em diferentes regiões e tipos de manejo (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; ALBUQUERQUE; SANTOS, 2006; SALES et al., 2009a). Entretanto, poucos são as informações quanto ao desempenho produtivo de clones resistentes a cochonilha do Carmim no semiárido brasileiro.

O aumento da produtividade de uma cultura em uma região depende de suas características morfológicas e da capacidade de adaptação ao ambiente, as quais favorecem a conversão de água, radiação e nutrientes em fotoassimilados (FIRINCIOLU et al., 2010).

A interrelação das condições do ambiente com os caracteres morfológicos e produtivos de culturas agrícolas é essencial para a análise da variabilidade do desempenho de genótipos ao longo do tempo e do espaço, diminuindo a necessidade de um

grande número de ensaios experimentais (CABRAL et al., 2011; FABIO et al., 2010; FIKRE et al., 2011; LU et al., 2011). Essas relações podem ser estabelecidas por meio da análise de trilha, que consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres independentes sobre uma variável resposta.

Aplicações têm sido feitas para várias culturas (RAO et al., 1998; SMILES; HUGO, 2011) e a influência das variáveis meteorológicas sobre o crescimento e a produtividade da palma forrageira é incipiente. Na literatura mundial há registro apenas do estudo de Potgieter (2007) para análise do efeito das condições ambientais sobre o rendimento de frutos de clones, na província de Limpopo, África do Sul. No Brasil, esse tipo de estudo é pioneiro.

Com base no exposto, objetivou-se comparar o crescimento e a produtividade de três clones de palma forrageira, resistentes a Cochonilha do Carmim, visando a identificação da contribuição das variáveis meteorológicas para as suas respostas ao ambiente semiárido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, localizado em Serra Talhada, Pernambuco, semiárido brasileiro (7°59'S, 38°15'O e 431 m). O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico franco arenoso e o clima local é semiárido, com os meses mais quentes ocorrendo as maiores magnitudes de chuvas e os meses frios os mais secos.

Antes do plantio, em fevereiro de 2010, realizou-se a aragem e a gradagem do solo. Os clones foram cultivados em espaçamento de 1,6 m x 0,2 m e em uma densidade em torno de 31.250 plantas por hectare. A área foi composta de nove parcelas experimentais, contendo quatro fileiras, cada uma com vinte plantas, ocupando uma área de 25,6 m² (80 plantas) e área útil de 10,24 m² (32 plantas). Foram realizadas capinas manuais, aplicação de herbicida (N-3,4-diclorofenil-N, N-dimetilureia) e de inseticida (O, O-dimethyl O-4-nitrophenyl phodphorothioate) quando necessários para manutenção da área livre de plantas espontâneas e de pragas, respectivamente. A adubação de 130 kg de N ha⁻¹ foi realizada em três vezes ao longo do ciclo produtivo, com base na recomendação de solo. O ciclo foi conduzido por dois anos em condições de sequeiro.

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com três repetições, onde foram avaliados os clones IPA Sertânia (*Nopalea cochenilifera* Salm Dyck), Miúda (*Nopalea cochenilifera* Salm Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw) Haw) entre os meses de fevereiro de 2010 e fevereiro de 2012, compreendendo 745 dias de ciclo.

O crescimento dos clones da palma forrageira foi obtido por meio do registro de variáveis biométricas

da planta e dos cladódios em 14 campanhas ao longo do ciclo da cultura (268, 283, 299, 306, 339, 367, 398, 426, 474, 537, 576, 626, 677 e 725 DAC, em que DAC = dias após o corte). Os dados da planta foram: altura (AP, cm); largura (LP, cm); número de cladódios por planta (NCP, unidades); e por ordem de surgimento dos cladódios (NCO, unidades). Por sua vez, os dados dos cladódios foram: comprimento (CC, cm); largura (LC, cm); perímetro (PC, cm); espessura (EC, mm); e área de cladódio (AC, cm²). As medições foram realizadas para os cladódios de todas as ordens (1^a, 2^a, n ordens) de uma ramificação representativa da planta. Para a obtenção destas variáveis foram selecionadas três plantas por parcela, resultando em nove plantas por tratamento. A AP, CC e LC foram obtidas por meio de fita milimetrada e a EC medida utilizando-se um paquímetro plástico. Os procedimentos de medidas da planta e dos cladódios seguiram procedimentos semelhantes aos citados por Silva et al. (2010). A AC foi determinada utilizando expressões previamente estabelecidas, que consideram variáveis biométricas na sua estimativa (CC, LC e PC), conforme Silva et al. (2014).

A produtividade da matéria fresca da cultura foi obtida mediante a pesagem de todos os cladódios das plantas da área útil (32 plantas), na ocasião da colheita (em fevereiro de 2012), deixando no campo apenas o cladódio basal. A produtividade da matéria seca foi obtida por meio da amostragem de dois cladódios representativos do terço médio da parte aérea de duas plantas por clone, de modo que uma vez pesados por meio de uma balança de precisão, fragmentados e acondicionados em sacos de papel, devidamente identificados, foram conduzidos a uma estufa de ventilação forçada a 65°C até obter peso seco constante.

Com a contabilização de plantas na ocasião do plantio e no momento da colheita também foram estimadas as densidades inicial (DIPH) e final (DFPH) de planta por hectare, com base no espaçamento da cultura (1,6 x 0,2 m) e número de plantas, e, posteriormente, calculada a mortalidade de plantas dos clones (%) pela relação [(DFPH-DIPH)/DIPH] x100. Os resultados negativos indicaram redução da população em relação ao início do ciclo.

Os valores de produtividade em matéria fresca e seca foram extrapolados para toneladas por hectare, assumindo o número médio de cladódios por planta (NCP, unidades), massa individual do cladódio (MIC, em gramas) e a densidade final de plantas por hectare (DFPH, plantas ha⁻¹), aplicando-se a expressão: (NCP x MIC x DFPH)/ 1000000, em que 1000000 é o fator de conversão de gramas para toneladas.

Por meio dos dados de biomassa da colheita foram feitas suas estimativas para as mesmas datas das campanhas biométricas, usando os dados de índice de área do cladódio e equações matemáticas previamente estabelecidas para os clones. O índice de área do cladódio (m² m⁻²) foi obtido usando os dados

de área do cladódio, número de cladódio por ordem e a área ocupada por cada planta (1,6 x 0,2 m), conforme Silva et al. (2014).

O monitoramento dos elementos meteorológicos ao longo do ciclo da cultura foi feito por meio de uma estação automática, situada a 1700 m da área experimental, com dados disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (www.inmet.gov.br, posto A350, latitude -7,95°, longitude -38,30° e altitude 499 m). Foram adquiridos os dados horários de radiação solar global (Rg), temperatura média (t) e umidade relativa média do ar (UR), velocidade do vento (u) e precipitação pluvial (P) e posteriormente convertidos em escala diária. Médias da Rg, t, UR e u e a soma da P foram feitas entre os valores ocorrentes no intervalo das datas das 14 campanhas biométricas para estabelecer as suas relações com o incremento do crescimento da palma forrageira.

A análise estatística experimental foi aplicada para realizar comparações entre os três clones de palma forrageira, utilizando os dados do final do ciclo. Nesse caso, foi realizada análise de variância e, uma vez significativa pelo teste F, assumindo o modelo que descreve o delineamento em blocos ao acaso, as médias foram submetidas ao teste de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A identificação da contribuição das variáveis meteorológicas (Grupo II - variáveis explicativas) sobre a evolução das características morfogênicas e do desempenho produtivo dos clones de palma forrageira em termos de base seca (Grupo I - variáveis respostas) foi feita por meio de análises de correlação de Pearson e análise de trilha, conforme procedimentos citados por Toebe e Cargnelutti Filho (2013). Para essa análise, os dados biométricos e de biomassa foram transformados em taxas de evolução do crescimento e da produtividade (i.e. cm d⁻¹, cm² d⁻¹, mm d⁻¹, g m² d⁻¹, etc.), realizando a divisão da diferença entre os valores de duas campanhas sucessivas com o número de dias entre elas. O número de variáveis a serem usadas para a realização da matriz de correlação também foi dependente da ocorrência de multicolinearidade fraca. As variáveis resultantes foram novamente submetidas à matriz de correlação de Pearson, de modo que apenas aqueles coeficientes significativos até 5% de probabilidade foram classificados conforme a magnitude e o sinal de seus valores e sujeitos a análise de trilha. Nesta análise foi quantificada a intensidade de cada efeito direto das variáveis explicativas sobre a variável resposta. Todas as análises estatísticas foram feitas por meio do *Software* "Genética Quantitativa e Estatística Experimental".

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a altura da planta foi verificada diferença entre os clones ($p < 0,05$), sendo a Orelha de Elefante Mexicana juntamente com a IPA Sertânia aqueles

com maiores magnitudes. O mesmo não foi observado para a largura do dossel ($p > 0,05$) (Tabela 1). Poucos são os registros de altura e largura das plantas dos clones IPA Sertânia e Orelha de Elefante

Mexicana, sendo mais comum para a Miúda. Leite (2009) verificou os menores valores de altura para o clone Miúda em relação ao IPA Sertânia em estudo conduzido no semiárido do Estado da Paraíba.

Tabela 1. Comparação de característica de crescimento de plantas de clones de palma forrageira (IPA - IPA Sertânia, MIU - Miúda, OEM - Orelha de Elefante Mexicana) aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro, no município de Serra Talhada (PE), semiárido brasileiro.

Variável	AP	LP	NCP	NC1	NC2	NC3	NC4	IAC
IPA	69,44 ab	84,89 a	13,67 b	4,56 a	7,11 b	1,33 b	0,00 b	0,93 a
MIU	68,11 b	88,44 a	35,44 a	4,78 a	12,78 a	11,67 a	3,89 a	0,89 a
OEM	80,56 a	101,78 a	14,11 b	4,00 a	7,33 b	1,78 b	0,00 b	1,75 a

AP – altura de plantas (cm); LP – largura de plantas (cm); NCP – número de cladódios por planta (unidades); NC1 – número de cladódios de 1ª ordem (unidades); NC2 – número de cladódios de 2ª ordem (unidades); NC3 – número de cladódios de 3ª ordem (unidades); NC4 – número de cladódios de 4ª ordem; e IAC – índice de área do cladódio ($m^2 m^{-2}$).

Médias seguidas pela mesma letra dentro de uma mesma variável não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Em termos de número de cladódios, observou-se que a Miúda apresentou maior emissão, diferindo dos outros dois clones ($p < 0,05$), sobretudo devido ao maior número de cladódios das ordens superiores (Tabela 1). Resultados similares foram obtidos por Sales et al. (2009a) no semiárido do Estado da Paraíba. Leite (2009) também verificou que o número de cladódios da Miúda foi superior ao da IPA Sertânia, ainda que ambos do mesmo gênero. Percebe-se na Tabela 1 que o número de cladódios da Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia não apresentaram diferenças significativas entre si ($p > 0,05$).

A Miúda foi o único clone que produziu cladódios de quarta ordem, representando 11% do total da planta. Esse percentual foi semelhante aos de primeira ordem, que corresponderam a 14%. A maior concentração de cladódios para esse clone está na segunda e na terceira ordens, que responderam por 36% e 33%, respectivamente. Resultado similar foi encontrado por Leite (2009). No presente estudo, para os clones Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia a distribuição de cladódios foi mais para aqueles de segunda ordem, com percentuais de 52% para ambos os clones. Os de primeira e de terceira ordens representaram 28% e 13% para a Orelha de Elefante Mexicana e de 33% e 10% para a IPA Sertânia, respectivamente.

Embora a Miúda possua maior número de cladódios, percebe-se que o seu índice de cladódio não é superior aos demais clones (Tabela 1), o que está associado ao menor tamanho da área dos cladódios. Apesar desses resultados do número de brotações e do índice de área do cladódio, as características morfológicas da planta podem variar em função

do tipo de espécie, idade, níveis de adubação e espaçamento, bem como por fatores ambientais, como disponibilidade de água no solo e temperatura (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; DUBEUX JUNIOR et al., 2006; KNEBEL et al., 2006; SALES et al., 2013).

Em relação às características dos cladódios (Tabela 2) percebe-se diferenças apenas para os comprimentos dos cladódios de primeira ordem ($p < 0,05$), sendo maiores para os clones IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana. Esses dois clones também apresentaram as maiores larguras dos cladódios até a segunda ordem. Diferenças quanto à espessura foram observadas apenas para os cladódios basais, onde a Miúda não se diferiu da IPA Sertânia, mas esse último da Orelha de Elefante Mexicana. Esses dados são contrários aos relatados por Leite (2009), em que a espessura dos cladódios da IPA Sertânia foi superior aos da Miúda ($p < 0,05$). Os resultados oriundos do comprimento e da largura dos cladódios conferiram a IPA Sertânia e a Orelha de Elefante Mexicana maiores perímetros de cladódios basais e de primeira ordem, quando comparados a Miúda.

A Orelha de Elefante Mexicana se sobressaiu em relação à área dos cladódios até a segunda ordem, sendo a Miúda o clone com menores valores. Para os cladódios de terceira e quarta ordens constou-se uma superioridade dos cladódios da Miúda, apesar de não ter sido verificada diferenças em relação aos demais clones ($p > 0,05$). Essas características dos cladódios confirmam os baixos valores de índice de área de cladódio estarem associados a Miúda, quando comparados aos outros dois clones avaliados.

Tabela 2. Características dos cladódios de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, aos dois anos após o plantio, cultivados em condições de sequeiro, no município de Serra Talhada (PE), semiárido brasileiro.

Clone	CCB	CC1	CC2	CC3	CC4
IPA	19,00 a	30,22 a	24,94 a	4,78 a	0,00 a
MIU	10,57 a	14,08 b	17,27 a	13,74 a	2,92 a
OEM	19,33 a	27,73 a	27,78 a	7,94 a	0,00 a
Clone	LCB	LC1	LC2	LC3	LC4
IPA	19,00 b	17,00 b	13,47 ab	2,61 a	0,00 a
MIU	11,81 c	9,33 c	9,33 b	6,97 a	1,67 a
OEM	26,72 a	24,49 a	22,94 a	6,50 a	0,00 a
Clone	ECB	EC1	EC2	EC3	EC4
IPA	42,67 a	26,56 a	9,56 a	3,33 a	0,00 a
MIU	36,56 ab	25,44 a	8,78 a	9,33 a	1,11 a
OEM	23,22 b	19,56 a	12,67 a	2,33 a	0,00 a
Clone	PCB	PC1	PC2	PC3	PC4
IPA	49,00 ab	61,72 b	55,94 a	11,33 a	0,00 a
MIU	28,44 b	37,28 c	41,02 a	37,06 a	7,17 a
OEM	58,89 a	75,88 a	71,59 a	21,47 a	0,00 a
Clone	ACB	AC1	AC2	AC3	AC4
IPA	161,85 b	243,11 b	229,71 ab	23,63 a	0,00 a
MIU	90,72 b	94,35 c	115,99 b	70,54 a	5,36 a
OEM	360,72 a	475,70 a	445,63 a	21,23 a	0,00 a

CCB – comprimento do cladódio basal (cm); CC1 – comprimento do cladódio de 1ª ordem (cm); CC2 – comprimento do cladódio de 2ª ordem (cm); CC3 – comprimento do cladódio de 3ª ordem (cm); CC4 – comprimento do cladódio de 4ª ordem (cm); LCB – largura do cladódio basal (cm); LC1 – largura do cladódio de 1ª ordem (cm); LC2 – largura do cladódio de 2ª ordem (cm); LC3 – largura do cladódio de 3ª ordem (cm); LC4 – largura do cladódio de 4ª ordem (cm); ECB – espessura do cladódio basal (mm); EC1 – espessura do cladódio de 1ª ordem (mm); EC2 – espessura do cladódio de 2ª ordem (mm); EC3 – espessura do cladódio de 3ª ordem (mm); EC4 – espessura do cladódio de 4ª ordem (mm); PCB – perímetro do cladódio basal (cm); PC1 – perímetro do cladódio de 1ª ordem (cm); PC2 – perímetro do cladódio de 2ª ordem (cm); PC3 – perímetro do cladódio de 3ª ordem (cm); PC4 – perímetro do cladódio de 4ª ordem (cm); ACB – área do cladódio basal (cm²); AC1 – área do cladódio de 1ª ordem (cm²); AC2 – área do cladódio de 2ª ordem (cm²); AC3 – área do cladódio de 3ª ordem (cm²); e AC4 – área do cladódio de 4ª ordem (cm²).

Médias seguidas pela mesma letra dentro de uma mesma variável não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em termos produtivos (Tabela 3), a Orelha de Elefante Mexicana foi o clone que apresentou maior rendimento de biomassa verde, diferenciando-se dos demais clones. Esse resultado pode estar associado a maior magnitude do índice de área do cladódio da Orelha de Elefante Mexicana, resultado da maior área de seus cladódios quando comparados aos dois clones do gênero *Nopalea*. Maiores valores de AC conferem a planta uma capacidade maior de acúmulo de água no tecido clorofílico, já que a perda de água ocorre mais pelo tecido parenquimático (GOLDSTEIN et al., 1991).

Embora tenham se diferenciado em termos de biomassa verde, o mesmo não foi observado em relação à biomassa seca ($p > 0,05$), sendo em média para a palma forrageira igual a $12,6 \pm 2,0 \text{ t ha}^{-1}$. Todavia, estudos têm relatado que a Miúda possui baixa adaptação ao ambiente semiárido, onde comumente há

níveis pluviométricos reduzidos e temperaturas noturnas elevadas (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2006; SALES et al., 2009a). Por outro lado, quando cultivada em condições de maior disponibilidade de água e/ou temperaturas mais amenas, várias pesquisas têm demonstrado que o rendimento da Miúda não se diferencia dos clones mais produtivos (SANTOS et al., 2006 a, b).

Quanto à mortalidade de plantas em relação ao estande inicial, a IPA Sertânia foi o clone que apresentou maior magnitude (Tabela 3), o que pode ser uma das justificativas para a sua produtividade não ter apresentado resultados mais expressivos. Sales et al. (2009b) e Leite (2009) fazem afirmativas semelhantes, mostrando que as espécies do gênero *Nopalea* possuem maior dificuldade de estabelecimento em relação às espécies do gênero *Opuntia*.

Com a aplicação da matriz de correlação e a análise de multicolinearidade, apenas as variáveis t, u, Rg e P (variáveis explicativas) e LP, NC2, CC2, LC2, ECB, EC2, ACB, AC3 e BSC (variáveis respondidas) foram submetidas a análise de trilha. A UR e

as demais variáveis de crescimento apresentaram alta multicolinearidade dentro dos seus respectivos grupos de variáveis meteorológicas e morfológicas. Assim, na análise de trilha as mesmas não foram consideradas.

Tabela 3. Parâmetros produtivos de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, aos dois anos após o plantio, cultivados em condições de sequeiro, no município de Serra Talhada (PE), semiárido brasileiro.

Clone	PMF	PMS	DFPH
-	t MV ha ⁻¹	t MS ha ⁻¹	Plantas ha ⁻¹
IPA	124,3 b	10,7 a	28000 (-10,4%)
MIU	117,5 b	11,5 a	29875 (-4,4%)
OEM	163,0 a	15,6 a	30938 (-1,0%)
Médias	134,92	12,60	-
Teste F	25,6*	3,43ns	-
C.V.(%)	6,22	19,37	-

- Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

- Valores entre parênteses indicam a mortalidade de plantas, assumindo uma densidade inicial de 31.250 plantas por hectare; * Significativo (P < 0,05); e ns – não significativo (P > 0,01 e 0,05);

PMF – produtividade de matéria fresca, PMS – produtividade de matéria seca, DFPH – densidade final de plantas por hectare.

Pela matriz de correlação (Tabela 4), verificou-se correlações significativas, porém com magnitudes fracas a moderadas, positivas ou negativas, entre as características morfológicas e de acúmulo de biomassa com as variáveis meteorológicas. A P, individualmente, foi a que apresentou maior influência sobre o crescimento da palma forrageira, afetando positivamente a LP, NC2, CC2, LC2, EC2, AC3 e BSC, ou seja, o aumento dos níveis de chuva favoreceu a evolução dessas características. O aumento da

disponibilidade de água para a palma forrageira influencia o crescimento e o rendimento da cultura (MERWER et al., 1997), porém apenas quando submetida a lâminas de irrigação acima de 60% de evaporação do tanque classe A (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004). A temperatura média do ar juntamente com a precipitação afetou o acúmulo de biomassa da cultura. Por sua vez, o aumento da temperatura reduziu o incremento da AC3.

Tabela 4. Coeficientes de correlação das características morfológicas e de acúmulo de biomassa em base seca de três clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados em condições de sequeiro, no município de Serra Talhada (PE), semiárido brasileiro.

Variável	Unidade	t	u	Rg	P
		°C	m s ⁻¹	MJ m ⁻² dia ⁻¹	Mm
LP	cm d ⁻¹	-0,132	-0,428**	-0,183	0,360*
NC2	und. d ⁻¹	-0,141	-0,326**	-0,043	0,431*
CC2	cm d ⁻¹	-0,119	-0,399**	-0,155	0,516**
LC2	cm d ⁻¹	-0,105	-0,416**	-0,172	0,555**
ECB	mm d ⁻¹	-0,097	0,056	-0,615**	0,022
EC2	mm d ⁻¹	-0,126	-0,185	-0,240	0,320*
ACB	cm ² d ⁻¹	-0,170	-0,049	-0,330*	0,073
AC3	cm ² d ⁻¹	-0,306*	-0,140	-0,013	0,371*
BSC	g m ² d ⁻¹	-0,345**	-0,292	-0,050	0,514**

**,* significativo pelo teste t (p < 0,01, p < 0,05).

LP - largura da planta; NC2 - número de cladódios de segunda ordem; CC2 - comprimento dos cladódios de segunda ordem; LC2 - largura dos cladódios de segunda ordem; ECB - espessura dos cladódios basais; EC2 - espessura dos cladódios de segunda ordem; ACB - área dos cladódios basais; AC3 - área dos cladódios de terceira ordem; BSC - biomassa seca da cultura; t – temperatura média do ar; u – velocidade do vento; Rg – radiação solar global; e P – precipitação pluvial

A maior incidência de Rg sobre a palma promoveu redução na evolução das características dos cladódios basais, supostamente devido o aumento da disponibilidade de água promover o surgimento de novos cladódios, conforme constatada pela influência de P em NC2 e relatadas em outras literaturas (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; MERWER et al., 1997). A velocidade do vento demonstrou efeito negativo sobre a evolução da LP, NC2, CC2 e LC2. Essa influência se deve ao efeito indireto da precipitação, como visto na Tabela 5, que, com exceção da LP, as magnitudes dos coeficientes indiretos são superiores aos diretos. No semiárido brasileiro, especificamente no município de Serra Talhada (PE), os meses com menores níveis pluviométricos são aqueles com velocidade de vento mais intensa (www.apac.pe.gov.br), por isso o seu efeito indireto e negativo.

O desdobramento na análise de trilha (Tabela 5) foi realizado apenas com aquelas características correlacionadas com pelo menos duas variáveis meteorológicas. Nos resultados, a precipitação apresentou tanto maiores magnitudes dos efeitos diretos quanto indiretos via as demais variáveis. Entretanto, apesar de seu destaque, percebeu-se que as variáveis meteorológicas apresentaram baixos efeitos (R^2 entre 0,158 e 0,331) sobre o crescimento e rendimento da palma forrageira, ou seja, as mesmas explicaram no máximo 33,1% da variabilidade do crescimento da palma forrageira, mostrando que a plasticidade morfofisiológica da espécie, quando submetida a diferentes condições ambientais, provavelmente inibe os efeitos das variáveis meteorológicas sobre a sua resposta ao ambiente. Essa característica da planta foi relatada por Majure (2007).

Tabela 5. Desdobramento das correlações entre as características morfogênicas e de acúmulo de biomassa da palma forrageira com as variáveis meteorológicas.

Variável	Efeito	LP	NC2	CC2	LC2	A3	BSC
t	Efeito direto t	-	-	-	-	-0,165	-0,125
	Efeito indireto via u	-	-	-	-	-	-
	Efeito indireto via Rg	-	-	-	-	-	-
	Efeito indireto via P	-	-	-	-	-0,141	-0,220
u	Efeito direto u	-0,330	-0,141	-0,181	-0,176	-	-
	Efeito indireto via t	-	-	-	-	-	-
	Efeito indireto via Rg	-	-	-	-	-	-
	Efeito indireto via P	-0,098	-0,185	-0,218	-0,240	-	-
Rg	Efeito direto Rg	-	-	-	-	-	-
	Efeito indireto via t	-	-	-	-	-	-
	Efeito indireto via u	-	-	-	-	-	-
	Efeito indireto via P	-	-	-	-	-	-
P	Efeito direto P	0,190	0,358	0,422	0,464	0,290	0,453
	Efeito indireto via t	-	-	-	-	0,080	0,068
	Efeito indireto via u	0,170	0,073	0,093	0,091	-	-
	Efeito indireto via Rg	-	-	-	-	-	-
Coeficiente de determinação		0,210	0,200	0,290	0,331	0,158	0,276

“-” indica que a variável meteorológica não apresentou efeito significativo pelo teste t ($p > 0,05$);

t – temperatura média do ar; u – velocidade do vento; Rg – radiação solar global; e P precipitação pluviométrica; LP - largura da planta; NC2 - número de cladódios de segunda ordem; CC2 - comprimento dos cladódios de segunda ordem; LC2 - largura dos cladódios de segunda ordem; AC3 – área dos cladódios de terceira ordem; BSC - biomassa seca da cultura.

CONCLUSÕES

A Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia são os clones que se destacaram na maioria das características da planta e dos cladódios, enquanto que a Miúda possui a maior emissão de cladódios no semiárido brasileiro.

A Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia*) se sobressaiu como o clone mais produtivo em massa fresca no semiárido, quando comparado aos clones do gênero *Nopalea* (IPA Sertânia e Miúda).

A IPA Sertânia foi o clone com maior mortalidade das plantas em relação ao estande inicial.

E as variáveis meteorológicas apresentaram baixo efeito (de 15,8% a 33,1%, a depender da variável de crescimento) sobre a evolução da cultura.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, S. G.; SANTOS, D. C. dos. Agronomic Evaluation of *Opuntia* spp. Varieties for Fodder Production in the Semi-arid Northeast, Brazil. *Acta Horticulturae*, Leuven, v. 728, p. 183-188, 2006.

CABRAL, P. D. S. et al. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e

- seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.
- DUBEUX JR., J. C. B. et al. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v. 67, n. 3, p. 357-372, 2006.
- FABIO, O. et al. Yield modelling in a Mediterranean species utilizing cause-effect relationships between temperature forcing and biological processes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 123, n. 3, p. 412-417, 2010.
- FIKRE, A. et al. Climatic, edaphic and altitudinal factors affecting yield and toxicity of *Lathyrus sativus* grown at five locations in Ethiopia. **Food and Chemical Toxicology**, Amsterdam, v. 49, n. 3, p. 623-630, 2011.
- FIRINCIOGLU, H. K. et al. Relationships between seed yield and yield components in common vetch (*Vicia sativa* ssp. *sativa*) populations sown in spring and autumn in central Turkey. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 30-37, 2010.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A. et al. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 97-107, 2004.
- GOLDSTEIN, G. et al. Diel patterns of water potential components for the Crassulacean acid metabolism plant *Opuntia ficus-indica* when well-watered or droughted. **Plant Physiology**, Rockville, v. 95, n. 1, p. 274-280, 1991.
- KNEBEL, J. L. et al. Influência do espaçamento e população de plantas sobre doenças de final de ciclo e oídio e caracteres agronômicos em soja. **Acta Scientia Agronomica**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 385-392, 2006.
- LEITE, M. L. de M. V. **Avaliação de clones de palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semi-árido paraibano**. 2009. 186 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.
- LOPES, E. B. et al. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp.) e (*Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental - Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 204-215, 2010.
- LU, G. et al. Relationship Among Yield components and selection criteria for yield improvement in early rapeseed (*Brassica napus* L.). **Agricultural Sciences in China**, v. 10, n. 7, p. 997-1003, 2011.
- MAJURE, L. C. **The ecology and morphological variation of *Opuntia* (cactaceae) species in the mid-south, United States**. 2007. 101 f. Thesis (Master in Science) - Faculty of Mississippi State University, Mississippi State, Mississippi, USA, 2007.
- MERWER, L. L. V. D.; WESSELS, A. B.; FERREIRA, D. I. Supplementary irrigation for spineless cactus pear. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 438, p. 77-81, 1997.
- NEFZAOU, A.; BEN SALEM, H. **Opuntiae: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region**. FAO International Cactus Pear Network Newsletter, 2000. p. 2-30.
- NEVES, A. L. A. et al. **Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros no semiárido brasileiro**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado Leiteiro, 2010. 7 p. (Embrapa Gado Leiteiro. Comunicado Técnico, 62).
- NOBEL, P. S.; BOBICH, E. G. Environmental biology. In: Nobel, P.S. (Ed.) **Cacti: Biology and Uses**. Berkeley, California: University of California Press, 2002. 280 p.
- NOBEL, P. S.; HARTSOCK, T. L. Relationships between Photosynthetically Active Radiation, Nocturnal Acid Accumulation, and CO₂ Uptake for a Crassulacean Acid Metabolism Plant, *Opuntia ficus-indica*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 71, n. 1, p. 71-75, 1983.
- POTGIETER, J. P. **The influence of environmental factors on spineless cactus pear (*Opuntia* spp.) fruit yield in Limpopo Province, South Africa**. 2007. 1502 f. Dissertation (Magister Scientiae in Agriculturae). Faculty of Natural and Agricultural Sciences, Bloemfontein, 2007.
- RAO, P. S.; SARASWATHYAMMA, C. K.; SEETHURAJ, M. R. Studies on the relationship between yield and meteorological parameters of para rubber tree (*Hevea brasiliensis*). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 90, n. 3, p. 235-245, 1998.
- SALES, A. T. et al. Adaptation potential of cactus pear to soil and climatic conditions of the Semi-Arid in Paraíba State, Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 811, p. 395-400, 2009a.
- SALES, A. T. et al. Mortality index of forage cactus in the semi-arid of Paraíba State - Brazil. **Acta Horti-**

culturae, Leuven, v. 811, p. 401-406, 2009b.
SALES, A. T. et al. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 7, n. 1, p. 19-24, 2013.

SANTOS, D. C. et al. Assessment of forage cactus pear varieties for semi-arid conditions of Northeast, Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 728, p. 177-181, 2006a.

SANTOS, D. C. et al. Evaluation of forage cactus pear varieties in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 728, p. 173-175, 2006b.

SHIMELISA, H.; HUGO, A. Determination of selection criteria for seed yield and seed oil content in Vernonia (*Vernonia galamensis* variety ethiopica). **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 436-439, 2011.

SILVA, N. G. M. et al. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 11, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, T. G. F. da et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Agrária**, Recife, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI, A. Multicollinearity in path analysis of maize (*Zea mays* L.). **Journal of Cereal**, v. 57, n. 3, p.453-462, 2013.

VASCONCELOS, A. G. V. et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carimim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 827-831, 2009.