



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

BRUNA REGINA DOS SANTOS SILVA

INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E REPETIBILIDADE EM PALMA
FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

AREIA

2022

BRUNA REGINA DOS SANTOS SILVA

**INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E REPETIBILIDADE EM PALMA
FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia, PB, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Agronomia.

Comitê de Orientação:

Dr. Mailson Monteiro do Rêgo

Dra. Jucilene Silva Araújo

AREIA

2022

BRUNA REGINA DOS SANTOS SILVA

**INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E REPETIBILIDADE EM PALMA
FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia, PB, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Agronomia.

Defendida em 14/12/2021

Apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA em AGRONOMIA (agricultura tropical) pela comissão Examinadora:



Prof. Mailson Monteiro do Rêgo (UFPB)
(Presidente)



Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva (IFGoiano)
Examinador Externo a Instituição



Dra. Jucilene Silva Araújo (INSA)
Examinadora Externa a Instituição



Profa. Dra. Priscila Alves Barroso (UFPI)
Examinadora Externa a Instituição



Profa. Dra. Elizaniida Ramalho do Rêgo (UFPB)
Examinadora Interna

Bruna Regina dos Santos Silva

Bruna Regina dos Santos Silva
Discente do PPGAgro

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

S586i Silva, Bruna Regina dos Santos.
Interação genótipo x ambiente e repetibilidade em
palma forrageira no Semirário paraibano / Bruna Regina
dos Santos Silva. - Areia:UFPB/CCA, 2021.
108 f.

Orientação: Mailson Monterio do Rêgo.
Coorientação: Jucilene Silva Araújo.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Opuntia. 3. Nopalea spp. 4.
Ambientes. 5. GGE biplot. I. Rêgo, Mailson Monterio do.
II. Araújo, Jucilene Silva. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

AGRADECIMENTOS

Deus, sou eternamente grata pelo dom da vida e por me guiar não só nesta etapa, mas em todos os dias de minha vida.

À minha mãe, Maria Lucineide dos Santos Souza, por ensinar que as minhas decisões e caminhos fossem sempre justos e honestos.

Ao meu pai, José Maria da Silva, por todo o discernimento, zelo e cuidado.

À minha irmã, Aline Regina dos Santos Silva, que mesmo com as implicâncias de irmã mais nova (risos), sempre se mostrou como uma das maiores torcedoras e incentivadoras da minha jornada.

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB) assim como ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) por todo apoio necessário para a realização desta pesquisa.

Agradeço ao prof. Dr. Maílson Monteiro do Rêgo por aceitar me orientar e pela abertura ao diálogo sempre.

Agradeço à Dra. Jucilene Silva Araújo, pesquisadora do INSA, pela disponibilidade e apoio.

Agradeço aos professores do programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFPB, pela dedicação e empenho em todas as disciplinas assim como seus ensinamentos de vida.

Agradeço à banca pelas contribuições necessárias na melhoria deste trabalho.

À professora Elizanilda Ramalho do Rêgo pelos ensinamentos.

Agradeço ao Dr. Anderson Rodrigo da Silva pela ajuda com as análises estatísticas.

À equipe do Laboratório de Melhoramento e Biotecnologia Vegetal, Campus II, pelas contribuições, de forma direta ou indireta.

Aos colegas que fiz na Pós-Graduação, durante as disciplinas e nos momentos de descontração, muito obrigada.

Aos amigos que fiz nessa etapa, meu muito obrigada. Sem vocês seria difícil segurar a barra. Obrigada por cada acolhida, sorriso, café, cuscuz com ovo, abraços, risadas, choros e conversas. Sou IMENSAMENTE grata. Obrigada acima de tudo pela amizade sincera, por tudo o que fizeram e fazem por mim, pela torcida, amor, preocupação e zelo. Obrigada por me acolher em seus lares juntamente com suas famílias e fazer de nós uma só. É impossível

descrever em palavras a minha gratidão. Vocês são parte essencial de mim. Muito obrigada: Erifranklin Nascimento Santos, Lanna Cecília Lima de Oliveira, Ângela Maria dos Santos Pessoa, Karla Nascimento e Ana Gabriela Sousa Basílio.

Obrigada aos que participaram direta ou indiretamente desta conquista. Desculpe-me se não citei (o/a) aqui. Mas saiba que isso nunca significará que você não foi importante na minha jornada. Tenha certeza que qualquer que tenha sido a sua contribuição, ela me ajudou a chegar até aqui.

Por fim, que Deus ilumine nossas vidas e que os bons espíritos estejam sempre a nos orientar. Assim seja!

SILVA, B.R.S. **Interação genótipo x ambiente e repetibilidade em palma forrageira no Semiárido paraibano.** Areia-PB, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Dez. 2021, 108f. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Orientador Prof. Mailson Monteiro do Rêgo. Coorientadora Prof.^a Dra. Jucilene Silva Araújo.

RESUMO GERAL

A palma forrageira (gênero *Opuntia* e subgênero *Nopalea* spp.) é a principal planta xerófila cultivada no Brasil, utilizada como base alimentar para os rebanhos, especialmente na época de estiagem. Estudos que visem a influência da interação genótipo x ambiente (GxA) nas características de produção são extremamente importantes para identificação de limitações e potencialidades de expressão dos materiais genéticos. O objetivo deste trabalho foi estudar em detalhes a interação GxA quanto à resposta produtiva de cultivares de palma forrageira no Semiárido paraibano. Este trabalho é composto por quatro capítulos. O primeiro deles é uma revisão de literatura. Para os demais, foram conduzidos experimentos em nove Microrregiões do Semiárido Paraibano, totalizando dezesseis municípios. Foram utilizados os genótipos de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda, todos resistentes a Cochonilha-do-carmim. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os experimentos foram realizados de 2013 a 2015 e avaliados quanto ao número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódios por planta e peso de massa seca por planta. Os dados foram submetidos a análise de variância univariada conjunta pelo fator ambiente (combinação de local e ano). Para o capítulo II foram realizadas análises de gráficas com GGE biplot “Wich won where” (quem ganhou onde); “Discriminação x Representatividade” e para o capítulo III “Desempenho x Estabilidade”; “Ambiente Ideal” e “Genótipo ideal”. Para o capítulo IV foi realizada uma análise de variância multivariada e foram estimados os componentes de variância genética e ambiental por máxima verossimilhança restrita e a partir destes, estimou-se a repetibilidade. A formação dos mega-ambientes, repetíveis nos dois anos de avaliação, auxiliaram na identificação dos ambientes onde os genótipos tiveram os maiores rendimentos. Houve a formação de um único mega-ambiente para todas as características. Para número de cladódios por planta e peso médio dos cladódios o mega-ambiente foi composto pelos 16 ambientes e para peso de massa verde por planta e peso de massa seca por planta, 7 ambientes. Foi possível observar o elevado potencial de discriminação e representatividade dos ambientes dentro das Microrregiões. Os genótipos mais adaptados e estáveis, de forma ampla ou específica foram identificados. Recomenda-se a seleção do genótipo Orelha de Elefante Mexicana como um material genético superior por ter alto desempenho, ser mais adaptado, estável e recomendado de forma geral nos ambientes avaliados do Semiárido paraibano. Inclusive, para seleção de genótipos superiores, como é o caso do genótipo Orelha de Elefante Mexicana, o ambiente ideal é o município de Zabelê. Este ambiente apresenta elevado potencial de discriminação e representatividade. Para este mesmo genótipo, a característica de peso médio de cladódios teve variação genética maior que a variação ambiental, além de alta estimativa do coeficiente de repetibilidade. Assim, dentre as características avaliadas, esta é uma das mais importantes para o genótipo Orelha de Elefante Mexicana. O genótipo Miúda tem adaptação específica no ambiente de Princesa Isabel, com a repetibilidade média para a característica de número de cladódios.

Palavras-chave: *opuntia*; *nopalea* spp.; ambientes; gge biplot.

SILVA, B.R.S. **Genotype x environment interaction and repeatability in forage cactus in the Semiarid region of Paraíba.** Areia-PB, Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, Nov. 2021, 108f. Thesis (Doctorate in Agronomy). Postgraduate Program in Agronomy. Advisor Dr. Malison Monteiro do Rêgo. Co-advisor Dra. Jucilene Silva de Araújo.

GENERAL ABSTRACT

The forage cactus (genus *Opuntia* and subgenus *Nopalea* spp.) is the main xerophytic plant cultivated in Brazil, used as a food base for herds, especially in the dry season. Studies aimed at the influence of genotype x environment (GxA) interaction on production traits are extremely important to identify limitations and potentialities of expression of genetic materials. The objective of this work was to study in detail the GxA interaction regarding the productive response of forage cactus cultivars in the semiarid region of Paraíba. This work consists of four chapters. The first one is a literature review. For the others, experiments were carried out in nine Microregions of the Semi-arid Paraíba, totaling sixteen municipalities. Orelha de Elefante Mexicana, Baiana and Miúda, all resistant to Carmine Cochineal, were used. The experimental design was randomized blocks, with four repetitions. The experiments were carried out from 2013 to 2015, regarding the number of cladodes per plant, weight of green mass per plant, average weight of cladodes per plant and dry weight per plant. The data were submitted to univariate analysis of variance together by the environment factor (combination of location and year). For chapters II and III, adaptability and stability analyzes were performed, in addition to graphical analyzes with GGE biplot “Wich won where” (who won where); “Discrimination x Representativeness” “Performance x Stability”; “Ideal Environment” and “Ideal Genotype”. For Chapter IV, a multivariate analysis of variance was performed and the genetic and environmental variance components were estimated by restricted maximum likelihood. From these, the repeatability was estimated. The formation of megaenvironments, repeatable in the two years of evaluation, helped to identify the environments where the genotypes had the highest yields. There was a formation of a single mega-environment for all features. For the number of cladodes per plant and the average weight of the cladodes or mega-environment, it was composed of the 16 environments and for the weight of green mass per plant and the weight of dry mass per plant, 7 environments. It was possible to observe the potential for possible and representative discrimination of environments within the Microregions. The most adapted and stable genotypes, broadly or specifically, were identified. The selection of the Orelha de Elefante Mexicana genotype is recommended as a superior genetic material for having high performance, being more adapted, stable and generally recommended in the evaluated environments of the semiarid region of Paraíba. For the selection of superior genotypes, the ideal environment is the municipality of Zabelê, as it has a high potential for discrimination and representativeness of the Microregions. In this genotype, the average cladode weight trait has a greater genetic variation than the environmental one, in addition to a high estimate of the repeatability coefficient. The Miúda genotype has specific adaptation in the Princesa Isabel environment, with average repeatability for the cladode number characteristic.

Keywords: *opuntia.*; *nopalea* spp.; environments; gge biplot.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA TESE ENTITULADA: INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E REPETIBILIDADE EM PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

- Figura 1 – Tipos de Climas de Semiárido no Brasil.....23
- Figura 2 – Aptidão climática da palma forrageira para o estado da Paraíba.....24

CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA EM ENSAIOS MULTI-AMBIENTAIS PELO MODELO GGE BIPLLOT

- Figura 1 GGE Biplot “which won where” nos dois anos para as características, número de cladódios por planta (a, b); peso de massa verde por planta (c, d); peso médio de cladódios por planta (e, f) e peso de massa seca por planta (g, h), dos genótipos, (G1) Orelha de Elefante Mexicana, (G2) Baiana e (G3) Miúda, em 16 municípios do semiárido paraibano.....59
- Figura 2 GGE biplot de “Discriminação e Representatividade” nos dois anos para as características, número de cladódios por planta (a, b); peso de massa verde por planta (c, d); peso médio de cladódios por planta (e, f) e peso de massa seca por planta (g, h), dos genótipos, (G1) Orelha de Elefante Mexicana, (G2) Baiana e (G3) Miúda, em 16 municípios do semiárido paraibano.....65

CAPÍTULO III: ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

- Figura 1 – “Desempenho x Estabilidade” (a,d), “Genótipo ideal” (b,e), “Ambiente ideal” (c,f) para a característica número de cladódios por planta em 2 anos de cultivo, para os genótipos, Orelha de Elefante Mexicana (G1), Baiana (G2) e Miúda (G3).....84
- Figura 2 – “Desempenho x Estabilidade” (a, d), “Genótipo ideal” (b, e), “Ambiente ideal” (c, f) para a característica peso de massa verde por planta em 2 anos de cultivo, para os genótipos, Orelha de Elefante Mexicana (G1), Baiana (G2) e Miúda (G3)85

Figura 3 –	“Desempenho x Estabilidade” (a, d), “Genótipo ideal” (b, e), “Ambiente ideal” (c,f) para a característica peso médio de cladódio, em 2 anos de cultivo, para os genótipos, Orelha de Elefante Mexicana (G1), Baiana (G2) e Miúda (G3).	86
Figura 4 –	“Desempenho x Estabilidade” (a, d), “Genótipo ideal” (b, e), “Ambiente ideal” (c,f) para a característica peso de massa seca por planta , em 2 anos de cultivo, para os genótipos são, Orelha de Elefante Mexicana (G1), Baiana (G2) e Miúda(G3)	87

**CAPÍTULO IV: COMPONENTES DA VARIÂNCIA GENÉTICA E ESTIMATIVA DE
REPETIBILIDADE PARA AS CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO DA
PALMA FORRAGEIRA**

Figura 1 –	Biplot para variáveis discriminantes canônicas representando vetores de médias de genótipos G1 = Orelha de Elefante Mexicana, G2 = Baiana e G3 = Miúda de 3 genótipos, por ano obtidas a partir de 4 características morfoagronômicas dos genótipos de palma forrageira.....	101
------------	--	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA EM ENSAIOS MULTIAMBIENTES PELO MODELO GGE BILOT

- Tabela 1 – Localização das áreas experimentais e precipitação no período de agosto de 2013 a julho de 2015.....52
- Tabela 2 – Características químicas e físicas dos solos das 16 áreas experimentais.....53
- Tabela 3 – Análise de variância conjunta para as características número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódios e peso de massa seca por planta, de três genótipos de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda), avaliados em 16 municípios do semiárido paraibano, por dois anos de cultivo.....55
- Tabela 4 – Médias das características de número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódios e peso de massa seca por planta de três genótipos de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda) avaliados em 16 municípios do semiárido paraibano, por dois anos de cultivo.....56

CAPÍTULO III: ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

- Tabela 1– Localização das áreas experimentais e precipitação no período de agosto de 2013 a julho de 2015.....78
- Tabela 2– Características químicas e físicas dos solos das 16 áreas experimentais de cada campo experimental.....79
- Tabela 3– Estimativas de adaptabilidade e estabilidade. As colunas consistem de média, índice de superioridade geral (todos os ambientes), considerando apenas ambientes favoráveis e ambientes desfavoráveis e as linhas são as variáveis de 3 genótipos de palma forrageira em dezesseis municípios do Semiárido paraibano.....82

**CAPÍTULO IV: COMPONENTES DA VARIÂNCIA GENÉTICA E ESTIMATIVA DE
REPETIBILIDADE PARA AS CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO DA PARA
PALMA FORRAGEIRA**

- Tabela 1 – Resumo da análise de variância multivariada (Manova) de três genótipos de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda) para características de produção, avaliadas em 16 municípios do Semiárido paraibano, por dois anos de cultivo.....100
- Tabela 2 – Componentes de variâncias genética (σ_g^2) e variâncias ambiental (σ_E^2) e estimativas de repetibilidade (r).....102

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	15
REFERÊNCIAS.....	17
1.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
CAPÍTULO I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA TESE ENTITULADA INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E REPETIBILIDADE DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO.....	22
1.1 SEMIÁRIDO BRASILEIRO (SAB)	22
1.2 ASPECTOS GERAIS DA PALMA FORRAGEIRABRASILEIRO.....	26
1.3 PANORAMA GERAL DO MELHORAMENTO GENÉTICO DA PALMA FORRAGEIRA.....	30
1.4 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE.....	32
1.5 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE.....	34
1.6 PARÂMETROS GENÉTICOS E REPETIBILIDADE.....	37
REFERÊNCIAS.....	39
CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA EM ENSAIOS MULTI-AMBIENTAIS PELO MODELO GGE BILOT.....	47
1 INTRODUÇÃO.....	50
2 METODOLOGIA.....	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4 CONCLUSÃO.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

CAPÍTULO III: ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO.....73

1 INTRODUÇÃO.....76

2 METODOLOGIA.....77

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....82

4 CONCLUSÃO.....91

REFERÊNCIAS.....91

CAPÍTULO IV: COMPONENTES DA VARIÂNCIA GENÉTICA E ESTIMATIVA DE REPETIBILIDADE PARA AS CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA94

1. INTRODUÇÃO.....97

2 METODOLOGIA.....98

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....100

4 CONCLUSÃO.....106

REFERÊNCIAS.....106

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Semiárido brasileiro (SAB) é composto por 1.262 municípios. Abrange os Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Piauí, Rio Grande do Norte, Ceará, Maranhão e o Norte de Minas Gerais. Juntos esses estados somam uma área de 1.128.697,40 km² do país. O estado da Paraíba possui uma área de Semiárido de 51.305,67 km², correspondendo a 90% do total do estado e 87% dos municípios. Os critérios utilizados para tal classificação são precipitação pluviométrica com média anual igual ou inferior a 800mm; possuir um índice de aridez Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2017).

Em regiões do Semiárido, as estiagens são um fator de risco para a segurança alimentar e hídrica, principalmente na agricultura, pois promove vulnerabilidade dos sistemas de produção agropecuária, com perdas econômicas significativas que resultam em pobreza e êxodo rural (TABARELLI et al., 2018; AMARAL et al., 2019; MORAES et al., 2020). Os eventos de estiagem prolongada tendem a ser mais intensos nos próximos anos, em escala regional e global. Esses fatores serão responsáveis pela queda de produção de alimentos além do aumento do déficit hídrico (SANTOS; AQUINO, 2017; LEISNER, 2020). As plantas da família Cactaceae, são dotadas de características que as permitem sobreviver e se reproduzirem nos ecossistemas secos, pois são plantas CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) e apresentarem diversas adaptações morfológicas e anatômicas (VENTURA-AGUILAR et al., 2017; BRAVO FILHO et al., 2018).

A palma forrageira pertence a essa família (gênero *Opuntia* e subgênero *Nopalea*). É muito utilizada na alimentação animal, em especial, nos períodos de estiagem (SILVA; SAMPAIO, 2015; PAULA et al., 2018). Além de ser uma opção altamente nutritiva, produz grande quantidade de biomassa, mesmo em climas adversos (NAZARENO, 2017; PESSOA, 2020). Estima-se que a área colhida de palma foi de 147.439 ha, com 125.725 estabelecimentos produtores, demonstrando a importância e potencialidade dessa cultura para o SAB (IBGE, 2017).

Variações ambientais de um determinado local como, precipitação, temperatura, altitude e características do solo influenciam na produção de biomassa. Conhecer as diferentes performances dos genótipos de palma forrageira em vários ambientes, interação GxA (genótipo x ambiente), é um dos objetivos dos programas de melhoramento genético desta forrageira. Por isso, é importante que a indicação de genótipos com características superiores seja feita de forma segura, levando em consideração essa interação.

Para facilitar a avaliação dos ambientes e do desempenho dos genótipos, uma ferramenta utilizada é a metodologia de GGE biplot, que consiste de um conjunto de informações predominantemente gráficas entre os genótipos e os ambientes, resultado de uma tabela bidirecional entre os fatores de linha, coluna e suas interações, simultaneamente (YAN; TINKER, 2006).

Em programas de melhoramento genético, comumente, é necessário a avaliação de plantas em vários anos e de ciclos repetitivos, o que torna os ensaios experimentais muitas vezes grandes e honerosos (RESENDE, 2002). Assim, o GGE biplot têm se tornado popular entre os melhoristas, pois a identificação de ambientes com interações semelhantes, reduzem não só os custos de testes em campo, mas também permite a identificação de ambientes distintos e de genótipos estáveis e adaptados (KRISHNAMURTHY et al., 2017).

A identificação de genótipos estáveis e adaptados fornece subsídios para indicações mais apropriadas de cultivo dos materiais de interesse. Se não houvesse a interação GxA, um determinado genótipo poderia se adaptar à maioria dos ambientes de cultivo, de maneira que um único ensaio poderia ser a base para uma recomendação generalizada. Caso exista essa interação, as adaptações dos genótipos aos ambientes podem fazer a diferença entre um bom e um excelente material genético.

O trabalho do melhorista tende a ser facilitado quando alguma característica fenotípica apresenta valores altos para os coeficientes de repetibilidade, indicando que os genótipos selecionados manterão sua superioridade, bom controle genético e progresso na seleção (CRUZ et al., 2012). A repetibilidade é a proporção da variância genética e ambiental, tomadas as medidas repetidas, ou seja, várias avaliações no tempo e espaço. A metodologia de REML (Método da Máxima Verossimilhança Restrita), permite estimar a repetibilidade (FALCONER, 1987; RESENDE, 2002) utilizando componentes de variância não viesados. O método consiste de um ajuste de modelo misto, em que apenas as estimativas de variância são obtidas pela maximização da função de verossimilhança dos resíduos (CARVALHO et al., 2017).

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A.P.M.C.; MARCHEZINI, V.; LINDOSO, D.P.; SAITO, S.M.; ALVALÁ, R.C. Desafios para a consolidação de um sistema de alerta de risco de desastre associado às secas no Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v.10, n.1, p.60–76, 2019.
- BRAVO FILHO, E.S.; SANTANA, M.C.; SANTOS, P.A.A.; RIBEIRO, A.S. Levantamento etnobotânico da família Cactaceae no estado de Sergipe. **Revista Fitos**, v.12, n.1, p.41-53, 2018.
- CARVALHO, L.C.B.; DAMASCENO-SILVA, K.J.; ROCHA, M.M.R.; OLIVEIRA, G.C.X. Genotype x environment interaction in cowpea by mixed models. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 872-878, 2017.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, A.J.; SOUZA, P.C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2012, 377p.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Imprensa Universitária, 1987, 279p.
- LEISNER, C.P. Review: Climate change impacts on food security- focus on perennial cropping systems and nutritional value. **Plant Science**, v.293, p.1-7, 2020.
- MORAES, G.S.O.; GUIM, A.; TABOSA, J.N.; CHAGAS, J.C.C.; ALMEIDA, M.P.; FERREIRA, M.A. Cactus (*O. stricta* (Haw.) Haw.), cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? **Livestock Science**, v.221, p.133–138, 2020.
- NAZARENO, M.A. **Nutritional properties and medicinal derivatives of fruits and cladodes**. In: INGLESE, P.; MONDRAGON, C.; NEFZAOU, A.; SÁENZ, C. Crop Ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear, Food and Agriculture Organization of the United Nations and the Internacional Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Rome, p.151–158, 2017.
- KRISHNAMURTHY, S.L., et al. Identification of megaenvironments and rice genotypes for general and specific adaptation to saline and alkaline stresses in India. **Scientific Reports**, v. 7, n. 7968, p.1-14, 2017.
- PESSOA, D.V., et al. Forage nutritional differences within the genus *Opuntia*. **Journal of Arid Environments**, v.181, p.1.14. 2020.
- PAULA, T.A.; VÉRAS, A.S.C.; GUIDO, S.I.; CHAGAS, J.C.C.; CONCEIÇÃO, M.G.; GOMES, R.N.; NASCIMENTO, H.F.A.; FERREIRA, M.A. Concentrate levels associated with a new genotype of cactus (*O. stricta* (Haw.) Haw.) cladodes in the diet of lactating dairy cows in a semi-arid region. **Journal of Agricultural Science**, v.156, n.10, p.1251–1258, 2018.
- RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002
- SANTOS, F.D.A.; AQUINO, C.M.S. Panorama da desertificação no nordeste do Brasil: características e suscetibilidades. **Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v.2, n.7, p.144, 2017.
- SILVA, R.R., SAMPAIO, E.V.S.S. Palmas forrageiras *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*: sistemas de produção e usos. **Revisão Científica**, v.2, p.131–141, 2015.

SUDENE. **Resolução Sudene 107 de 27 de julho de 2017**. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/images/2017/arquivos/Resolucao-107-2017.pdf>>. Acesso em 08 de fevereiro de 2021.

TABARELLI, M.; LEAL, I.R.; SCARANO, F.R.; SILVA, J.M.C. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, v.70, n.4, p.25–29, 2018.

VENTURA-AGUILAR, R.I.; BOSQUEZ-MOLINA, E.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; RIVERA-CABRERA, F. Cactus stem (*Opuntia ficus-indica* Mill): anatomy, physiology and chemical composition with emphasis on its biofunctional properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.97, n.15, p. 5065–5073, 2017.

YAN, W.; TINKER, N.A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. **Canadian of Plant Science**, v. 86, p. 623–645, 2006.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi estudar em detalhes a interação GxA quanto à resposta produtiva de cultivares de palma forrageira no Semiárido paraibano.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar ambientes discriminativos e representativos em relação a diferentes genótipos de palma forrageira no Semiárido paraibano;
- b) Investigar as diferenças entre locais e anos testados;
- c) Identificar e recomendar genótipos de palma forrageira para o Semiárido paraibano com base na adaptabilidade e estabilidade;
- d) Identificar os locais ideais para o genótipo de melhor desempenho na condução de ensaios de melhoramento da palma forrageira no Estado da Paraíba;
- e) Estimar a variação genética, ambiental e a repetibilidade para as características em estudo.

CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA TESE ENTITULADA: INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E REPETIBILIDADE DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

RESUMO

Essa revisão bibliográfica tem objetivo disponibilizar informações sobre a cultura da palma forrageira, desde a origem até as ferramentas utilizadas para auxiliar nos processos de avaliação de seu desempenho, assim como sua importância para a agricultura familiar, utilizada principalmente como fonte de energia e água na alimentação dos animais, além do seu potencial na alimentação humana. Por serem espécies cultivadas em regiões de clima árido e semiárido, é imprescindível que se avalie o desempenho dos genótipos nessas condições ambientais, visto que estes ambientes estão distribuídos em várias Microrregiões na Paraíba, cada uma com suas particularidades edafoclimáticas, objetivando assim um maior esclarecimento do potencial econômico da palma forrageira.

Palavras-chave: cactaceae; lavouras xerófilas; interação GxA.

ABSTRACT

This literature review aims to provide information on the cultivation of forage palm, from its origin to the tools used to assist in the processes of evaluating its performance, as well as its importance for family farming, mainly used as a source of energy and water in the feeding animals beyond their potential for human consumption. As they are species cultivated in arid and semi-arid climate regions, it is essential to assess the performance of genotypes in these environmental conditions, as these environments are distributed in several Microregions in Paraíba, each with its peculiarities, thus aiming to further clarify the potential of forage palm.

Keyword: cactaceae; xerophilic crops; interaction GxE.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 SEMIÁRIDO BRASILEIRO (SAB)

O SAB, simbolicamente, como espaço midiático, muitas vezes está associado a falta de água. Contudo, existem variações de uma região para outra. Em alguns lugares, o índice de chuvas pode chegar a 800 mm ao ano. Em outros, apenas 300 milímetros anuais. As chuvas são concentradas em poucos meses e mais de 90% de suas águas não são aproveitadas devido à sua evaporação e escoamento superficial (CAMPOS et al., 2013). No semiárido paraibano, janeiro é o mês da pré-estação chuvosa. Os meses de fevereiro e março são os mais chuvosos das regiões do Alto Sertão, Sertão, Cariri e Curimataú da Paraíba (AESA 2021).

Historicamente, o Semiárido só começou a ser visibilizado quando a população se efetivou na região, durante o século XVIII, devido as atividades de pecuária bovina. Assim, com o decorrer do tempo, as secas fizeram parte dos relatos históricos da época. Num primeiro momento, a preocupação dos colonizadores (portugueses) era fixar o homem em suas atividades produtivas. Após a ocorrência da grande seca, entre 1877 e 1878, ocorreram as primeiras distribuições de alimentos (feijão, farinha e milho) e perfuração de poços, na tentativa de amenizar as mortes decorrentes da fome (SILVA, 2006).

A primeira delimitação do SAB ocorreu em 1946 com o Polígono das Secas, região delimitada pela legislação com a ocorrência da seca, e posteriormente, aparece na Constituição Federal, Lei 7.827 de setembro de 1989, definida como sendo uma região com precipitação pluviométrica igual ou inferior a 800 mm. Deste modo, é perceptível que ao longo do tempo, esta região recebeu ações do Estado de forma emergencial e assistencialista (SILVA, 2006; BARBOSA, 2010).

O SAB brasileiro é um dos maiores, mais populosos e também mais úmidos do mundo (NOGUEIRA, 1994). Em seus limites, o Semiárido transita entre climas sub-úmidos, a exemplo da zona da mata atlântica, Amazônia maranhense e cerrado brasileiro (AB'SABER, 2003). Trata-se de uma região extremamente rica, justamente por ser tão heterogênea, com solos propícios ao cultivo de várias culturas adaptáveis a tal realidade climática (TELES, 2020).

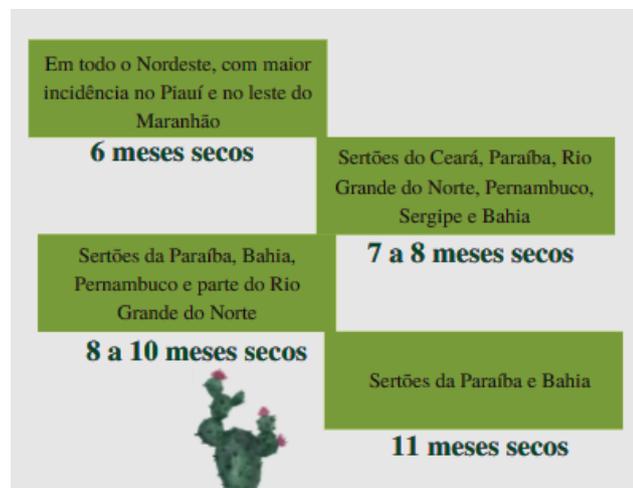
Para Schistek (2013), os seres humanos convivem com um clima que existe há 8 ou 10 mil anos, com alguns anos de muita chuva e outros nem tanto. Mas, a natureza sabiamente, criou um sistema ecológico único, rico e diverso. Assim, é imprescindível que o desenvolvimento na região seja encarado com uma noção de convivência com a natureza e não de sua dominação e destruição.

O SAB é composto pelos seguintes biomas, Caatinga, Mata Atlântica, Amazônia e apresenta uma grande quantidade de recursos genéticos. O bioma Caatinga é exclusivamente nacional, composto de ambientes e plantas diversificadas, com espécies arbóreas, herbáceas, plantas lenhosas de pequeno e grande porte, plantas caducifólias e cactáceas (ICMBio/MMA, 2018)

Cerca de 5.000 espécies vegetais são distribuídas em pelo menos 150 famílias botânicas. A vegetação típica são plantas hiperxerófilas (perdem todas as suas folhas logo que termina o período das chuvas) e hipoxerófilas (mantém boa parte de suas folhas mesmo em grande do período seco). As Cactáceas são uma das famílias de maior relevância, com aproximadamente 94 gêneros e 1.159 espécies (STEVENS, 2015). O Brasil é o terceiro maior centro de diversidade dessa família (GUERRERO et al., 2018), representadas pelos seus 39 gêneros e 260 espécies, sendo endêmicos do Nordeste 25 gêneros e 105 espécies (TAYLOR et al., 2015).

Existe uma divisão espacial do Semiárido, baseado em fatores físicos e na cobertura vegetal. São eles: Caatinga, Sertão, Carrasco, Seridó, Cariris-Velhos, Curimataú e Agreste. Existem quatro tipos de Climas de Semiárido no Brasil, (Figura 1) (SANTOS et al., 2013).

Figura 1 – Tipos de Climas de Semiárido no Brasil

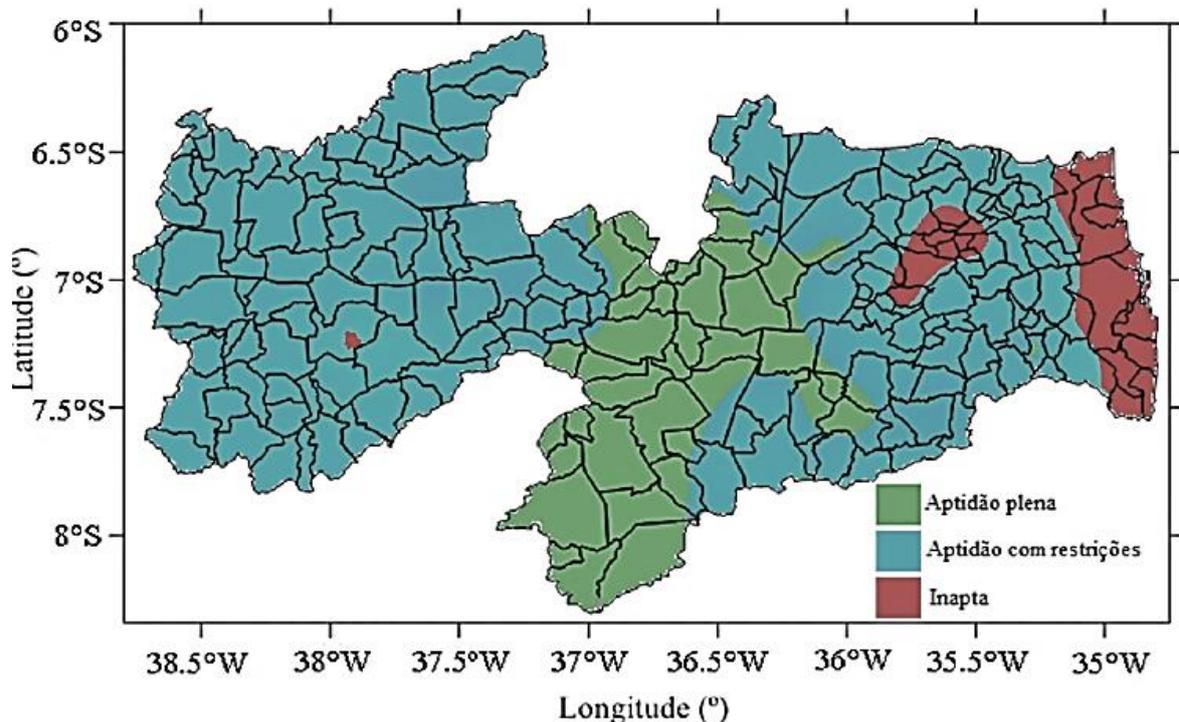


Fonte: Santos (et al., 2013).

Segundo o mesmo autor, no estado da Paraíba os municípios que fazem parte do Clima de Semiárido dos 11 meses secos são: Barra de São Miguel, Cabaceiras, Gurjão, Juazeirinho, São Domingos do Cariri, São João do Cariri, São Vicente do Seridó e Soledade. Bezerra et al., (2014) realizaram um zoneamento agroclimático no Estado da Paraíba para o cultivo da palma forrageira, utilizando alguns dos indicadores climáticos como temperatura média, amplitude

térmica, precipitação e índice de umidade, além da adoção do critério de Moura et al., (2011), que classificam as áreas quanto: Aptidão plena (áreas com índices climáticos que não apresentam restrição alguma ao cultivo da palma); Aptidão com restrições (região na qual pelo menos um dos indicadores climáticos apresenta restrição ao desenvolvimento da palma forrageira) e Inapta (região na qual pelo menos um dos indicadores climáticos é limitante ao cultivo da palma-forrageira) (Figura 2).

Figura 2 – Aptidão climática da palma forrageira para o estado da Paraíba.



Fonte: Adaptada de BEZERRA et al., (2014)

Na Paraíba, a precipitação média é predominantemente inferior a 1000 mm por ano. Para a Mesorregião da Borborema, os registros de chuva são em torno de 500 mm. Na Mesorregião do Sertão, a precipitação média é em torno de 800 mm. Acima de 1200 mm de chuva são registrados na Mesorregião do Litoral, além da cidade de Areia, no Agreste e do município de Olho d'Água, no Sertão Paraibano. Quanto à temperatura, os valores climatológicos mais elevados são na Mesorregião do Litoral e Sertão Paraibano (entre 30 e 33°C). Temperaturas amenas são registradas na Mesorregião da Borborema e na Mesorregião do Agreste (27 e 29°C), visto que essas regiões estão localizadas sobre o Planalto da Borborema, onde também estão localizadas as maiores altitudes do estado da Paraíba (BEZERRA et al., 2014).

Projeções apontam aumento na temperatura média em 1,5 °C em 30 anos e diminuição de 20% na quantidade de chuvas (CAMPOS, 2019; PBMC, 2014). De modo que, os eventos de estiagem prolongada tendem a ser mais intensos e a pecuária será atingida de forma significativa, em magnitudes ainda desconhecidas (LEISNER, 2020). A estiagem é um fenômeno natural. Mas a seca é a consequência da estiagem, devido a falta de planejamento quando ocorrem os quadros de queda de produção e déficit hídrico (SANTOS; AQUINO, 2017). O setor da pecuária é um dos mais atingidos. Responsável, em nível mundial, por 31% dos alimentos consumidos diariamente, para essa atividade, as alterações climáticas afetam os recursos alimentares e interferem na saúde e no conforto dos animais, refletindo na redução da oferta da proteína animal (GODDE et al., 2021).

Na Paraíba, 76,9% dos estabelecimentos rurais são familiares. Esse montante absorve 73,4% das ocupações do setor primário estadual. Dentre as atividades desenvolvidas nestas propriedades, a pecuária representa 58,2%. O principal rebanho é o bovino, seguidos do caprino e ovino (IBGE/SIDRA, 2017). A pecuária tem um peso muito significativo nesses estabelecimentos, explicado principalmente pelo fato de que os animais são facilmente vendidos em épocas de dificuldade. Além do mais, a produção animal no estado tem sido uma fonte de insumos para a agroindústria rural, voltada para a produção de queijo e requeijão (TARGINO e MOREIRA, 2020).

No setor agropecuário, a palma forrageira apresenta vários benefícios para a alimentação animal, dentre eles, a grande quantidade de água nos cladódios, aproximadamente 90% do seu peso *in natura*, além de conter minerais, vitaminas, carboidratos não fibrosos, alta aceitabilidade e digestibilidade (GALVÃO JÚNIOR et al., 2014; PEREIRA et al., 2015; SILVA et al., 2021). Para que essa cultura expresse seu máximo potencial produtivo, é necessário que tanto as condições de cultivo estejam dentro das condições ideais (precipitações pluviométricas anuais entre 368 mm a 812 mm) como a utilização de genótipos adaptados, sejam utilizados para potencializar a produção de forragem.

Caso contrário, a criação de animais de grande e médio porte pode ser comprometida, abrindo espaço para que nos períodos de estiagem, ocorra a retirada da vegetação da Caatinga, deixando o solo mais exposto às ações da temperatura e dos ventos, afetando a sua capacidade produtiva e causando perda de germoplasma (SANTOS; AQUINO, 2017; ROCHA ET AL., 2020). Assim, a palma forrageira deve ser utilizada para a convivência com o semiárido, pois seu cultivo diminui a pressão do pastejo em áreas da Caatinga e auxilia na conservação do solo.

É imprescindível que o Bioma Caatinga seja preservado não só pela exclusividade Nacional e riqueza em biodiversidade vegetal e animal, mas também pela atuação deste como um sumidouro de carbono (lugares em que as absorções de dióxido de carbono são maiores do que as emissões), comparável inclusive a algumas florestas tropicais, como a Amazônia (MACÊDO et al., 2020), contribuindo com a redução da poluição atmosférica.

Além do mais, é importante conhecer de forma concreta a aptidão dos genótipos de palma forrageira, influenciados pelas condições edafoclimáticas, sendo necessário um conhecimento mais detalhado sobre a produção dessa forrageira nas áreas diversas áreas de cultivo. Essas informações auxiliarão na implementação de futuras políticas públicas e projetos voltados para a sustentabilidade econômica e ambiental da região (SALVADOR et al., 2021).

1.2 ASPECTOS GERAIS DA PALMA FORRAGEIRA

Acredita-se que a origem da palma forrageira (gêneros *Opuntia* e subgênero *Nopalea*) foi no continente americano, tendo como provável centro origem do gênero *Opuntia*, o México. Sua domesticação ocorreu a pelo menos 9000 anos, a partir de espécies ancestrais desta região (KIESLING, 1998; FLORES, 1994). A palma forrageira foi extremamente importante na economia agrícola do Império Asteca, pois era comum o uso da fruta da palma na alimentação humana (INGLESE et al., 2001; JACOBO et al., 2001; REINOLDS et al., 2008).

Dos planaltos mexicanos, a palma foi disseminada para outras regiões principalmente para a produção de fruta (BALDINI et al., 1982; CANTWELL, M., 2001). O processo de seleção ancestral dos gêneros *Opuntia* e subgênero *Nopalea* foi direcionado para plantas sem espinhos e frutos mais doces. Em seguida, as plantas cultivadas foram espalhadas para a América central e sul do México e, possivelmente, até a América do Sul. Com a chegada dos espanhóis no território do mexicano, a palma passou a ser levada para Europa principalmente como fonte de vitamina C, onde era utilizada na alimentação dos marinheiros, durante as viagens (GRIFFITH, 2004).

No Brasil foi introduzida por volta do século XVIII com objetivo de produzir corante natural carmim (substância produzida pelo inseto *Dactylopius coccus*, parasita natural da palma), utilizado na indústria têxtil (MACÊDO, 2020). Só no início do século XX, com as grandes secas no Nordeste brasileiro, a palma ganhou foi utilizada para fins forrageiros (SANTOS et al., 2006). É conhecida principalmente por ser utilizada como forragem animal devido à adaptação em ambientes com déficit hídrico, ser rica em nutrientes e água. Os

principais cultivos pertencem ao gênero *Opuntia* e subgênero *Nopalea* (MARQUES et al., 2017).

A palma também pode ser utilizada como planta ornamental, na culinária e para produção de vários produtos (BRAVO FILHO et al., 2018). Na gastronomia, os cladódios (raquetes) jovens de plantas de *Nopalea* são utilizadas na preparação de nopalitos, comida típica mexicana, composta de palma, cebolinha, queijo, sal e azeite. Além da utilização em doces, geleias, bolos, pães, sucos e vitaminas. Inclusive, essas são boas alternativas nutricionais para a alimentação escolar e como opção para dietas vegetarianas (GOMES; FILHO, 2020). Surge também na indústria como um novo ingrediente devido ao seu tecido parenquimatoso que contém mucilagem, usado na elaboração de produtos, como maionese com baixo teor de gordura, suplementação de iogurtes, agente gelificante de *marshmallow* e na forma de pó, como ingrediente adicional da farinha de milho instantânea (NICANOR et al., 2015; DU TOIT et al., 2016).

As perspectivas futuras para as espécies de palma serão de fontes intermináveis de produtos alimentícios, industriais e para a saúde, por apresentarem propriedades benéficas quanto ao seu conteúdo fenólico, antioxidante (ascorbato) e pigmentos de carotenóide e betalaínas (DE WIT et al., 2020). Também podem ser utilizadas no ambiente para a recuperação de áreas degradadas, como cercas vivas e no paisagismo. Alguns estudos já demonstram sua possibilidade de produzir etanol e biogás (QUEIROZ et al., 2021). Para alimentação animal, de alta qualidade e baixo custo, pode compor a dieta de cabras leiteiras, substituindo 50% em farelo de milho (SANTOS et al., 2006; GOUVEIA et al. 2015).

O metabolismo destas espécies é CAM (do inglês, *Crassulaceae Acid Metabolism*). A abertura estomática ocorre à noite para fixação do CO₂. A temperatura amena da noite faz com que se reduza a perda de água nesse processo de fixação de CO₂, uma vez que pela mesma cavidade que é absorvido o CO₂ acontece a transpiração (TAIZ et al., 2017).

Morfologicamente, a palma cresce de forma ereta ou estendida. Possui caule modificado, cladódios com formato de raquete ovóide ou alongada que atingem de 60 a 70 cm de comprimento. As gemas, chamadas de auréolas, encontram-se em ambos os lados e têm a capacidade de desenvolver novos cladódios. Os espinhos (folhas modificadas) estão nas aréolas. As flores desenvolvem-se na parte superior dos cladódios, são sésseis e hermafroditas. Sua coloração varia entre vermelha, amarela e branca. O fruto é no formato de baga e pode ser ovóide, redondo ou elíptico (GALLEGOS-VÁZQUEZ et al., 2005; SANTOS et al., 2006). O sistema radicular é composto por raízes fixadoras, com função estrutural, que penetram as

camadas mais profundas do solo para extrair nutrientes e água, e as raízes tipo absorventes, com a função de captar água e nutrientes imediatamente (SAMPAIO, 2005).

As contagens cromossômicas são de número básico $x = 11$ para a família Cactaceae (POWELL; WEEDIN, 2001). Com relação a ploidia, as espécies do gênero *Opuntia* podem ser diplóides ($2n$), triploides ($3x$), tetraploides ($4x$) e octaploides ($8x$) (MAJURE et al., 2012). O subgênero *Nopalea*, comumente é $2n=22$ (SILVA, 2019). O aumento de ploidia significa para a anatomia e fisiologia, um aumento da largura das flores, caules e raízes. Além da maior resistência a doenças e uma melhor adaptação a estresses ambientais (SHAO et al., 2003). Em cactáceas, a poliploidia é responsável pelo sucesso evolutivo e diversidade genética das espécies (MAJURE, 2012), além de ser um evento comum principalmente na palma forrageira (PINKAVA, 2002). Elas apresentam um sistema de reprodução misto e versátil, com taxas variáveis, em função das condições ambientais e também inerentes as próprias espécies (BARBERA, 1995; NERD E MIZRAHI, 1995). O modo de reprodução assexuada é o mecanismo mais difundido entre os produtores rurais (PASTORIZA, 2016).

A palma forrageira pode ser consorciada com diversas culturas, sejam elas anuais ou perenes, como milho, sorgo, feijão, gliricídia, girassol forrageiro, feijão-guandu e capim *buffel*. Também pode ser feita a combinação com árvores, para o setor madeireiro, em sistema agroflorestal, promovendo benefícios econômicos e ecológicos (ARAÚJO et al., 2019).

O IPA (Instituto Agrônomo de Pernambuco), EMBRAPA (Empresa de Pesquisa Agropecuária), EMPAER (Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária) e o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) indicam que para seu cultivo, o local deve ter temperatura entre 16 e 25°C, com máximas entre 28 a 31°C e pluviosidade entre 400 a 800 mm anual (LOPES; VACONCELOS, 2012).

Como qualquer outra cultura vegetal, a palma pode ser acometida por diversas pragas. Duas espécies de cochonilhas destacam-se por provocar uma redução da produção, são elas: Cochonilha de escamas (*Diaspis echinocacti* Bouché), popularmente conhecida por piolho ou mofo da palma, e a Cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell). Os genótipos “Orelha de Elefante Mexicana” (*Opuntia stricta*), “Miúda” e “Baiana” (*Nopalea cochenilifera* Salm Dyck) e “Orelha de Elefante Africana” (*Opuntia undulata* Griffiths) são as mais utilizadas na agropecuária por apresentam resistência à Cochonilha-do-carmim (VASCONCELOS et al., 2009; LOPES et al., 2010).

O gênero *Opuntia* tem como característica principal aréolas com espinhos finos com a ponta em forma de gancho, em maior ou menor densidade (Le HOUÉROU, 2002). As espécies

cultivadas são consideradas sem espinhos, pois, embora tenham alguns, são muito menores em termos de tamanho e quantidade (ALBUQUERQUE e SANTOS, 2005), quando comparado aos clones espontâneos que são muito agressivos e só são utilizados para cerca ou como alimento animal nas grandes secas, quando têm que ser queimados antes de fornecer aos animais.

Conhecida por apresentar elevados teores de matéria seca e carboidrato, porém com menor resistência à seca, o genótipo Miúda, Doce ou IPA-100004/Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) como é popularmente chamada, se adapta bem no semiárido, porém com respostas mais produtivas nas áreas mais úmidas da região. Apresenta um tamanho de raquete que varia entre 18 cm x 9 cm e 25 cm x 10 cm de comprimento e largura, respectivamente, e peso médio de 350 g. Resistente a Cochonilha-do-carmim, foi selecionada a partir de 1022 acessos do banco de germoplasma do IPA (ARAÚJO et al., 2019; LIMA et al., 2021).

O genótipo Baiana, também conhecida como Mão-de-Moça ou Ipa Sertânea (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) foi originada de uma mutação espontânea do genótipo Miúda. Foi identificada através da observação dos agricultores do sertão baiano. Eles constataram que no palmal existiam algumas plantas que apresentavam cladódios de 3 a 4 vezes maiores que o genótipo Miúda (LIMA et al., 2021). Esta planta possui porte médio, raquetes ovóides de cor verde-claro, são lisas e sem pelos, além de uniformes. Apresentam tamanho de raquetes que varia de 26 cm x 13 cm a 37 cm x 14 cm de comprimento e largura, respectivamente, com peso entre 500 g e 1500 g.

O genótipo Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), é mais rústica e mais resistente à seca quando comparada com os genótipos Miúda e Baiana. Possui porte médio, raquetes ovóides de cor verde-cinza e com pêlos. O peso de suas raquetes está entre 0,6 kg e 1,5 kg, com tamanho médio variando entre 26 cm x 21 cm e 47 cm x 34 cm de comprimento e largura, respectivamente (ARAÚJO et al., 2019). Esse genótipo na década de 80 estava restrito aos palmals de centros de pesquisa como EMBRAPA e IPA. Com o aparecimento da Cochonilha-do-carmim, esses centros passaram a selecionar materiais resistentes a este inseto (LIMA et al., 2021).

Esses três genótipos possuem resistência à Cochonilha-do-carmim (*Dactylopius Opuntiae*), no entanto, são suscetíveis à Cochonilha-de-escamas (*Diaspis echinocacti*), podridão-do-pé (*Fusarium* sp) e podridão-mole (*Erwinia carotovora*) (ARAÚJO, et al, 2019).

1.3 PANORAMA GERAL DO MELHORAMENTO GENÉTICO DA PALMA FORRAGEIRA

O melhoramento genético da palma foi inicializado por Luther Burbank, geneticista e horticultor norte-americano, que por algumas décadas coletou, selecionou e realizou diversos cruzamentos em espécies do gênero *Opuntia*. Ele visualizou o potencial de produzir variedades em regiões áridas e semiáridas. Após esses eventos, um comércio intenso dessas espécies foi realizado (DOMINGUES, 1960; MONDRAGÓN-JACOB e PERÉZ-GONZÁLES, 2001).

Segundo DOMINGUES (1960), no Brasil o DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) foi um dos primeiros compradores e distribuidores de mudas de *Opuntia ficus-indica* para os Estados da Paraíba, Ceará e Bahia. Na década de 1990, o Clone IPA-20 foi a primeira cultivar liberada pelo programa de melhoramento genético de palma forrageira, marcando historicamente o Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (SANTOS, DIAS; LIRA, 2005).

Os bancos *ex situ* de germoplasma de *Opuntia* são encontrados em todos os continentes. Na América, os centros de diversidade são representados por Argentina, Brasil, Chile, Estados Unidos e México (MOREIRA-FILHO, 2020). No IPA, o BAG (banco de germoplasma) de palma forrageira é constituído por genótipos dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, desse total, 50% são genótipos introduzidos e 50% gerados pelo IPA, que também identificou as espécies *Opuntia ficus-indica* Mill, *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, *Opuntia stricta* Haw; *Opuntia undulata* Griffiths e *Opuntia atropes* Rose. Ao total, são 1417 acessos (INGLESE et al., 2017).

Outro programa de melhoramento da cultura é realizado no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), iniciado em 2019 e introduziu no BAG materiais da Paraíba, Pernambuco, México e Estados Unidos. Conta com um total de 142 acessos do gênero *Opuntia* e subgênero *Nopalea*. No programa, são realizadas caracterizações, cruzamentos e seleção. Dentre os principais objetivos deste programa estão, produzir novos materiais genéticos para fins diversos, como forragem ou para alimentação humana (frutos e cladódios) e ornamentação. Outra função importante do BAG é diversificar e identificar genótipos resistentes a Cochonilha-do-carmim, inseto responsável por dizimiar palmais no Semiárido brasileiro.

Além destes, a antiga EMEPA e atual EMPAER (Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária) possui 170 acessos, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) possui 27 acessos e a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), possui 280 acessos (SANTOS et al., 2011).

Em geral, as etapas do melhoramento genético são, caracterização agrônômica de acessos do BAG a fim de ampliar o conhecimento sobre a diversidade genética e facilitar o processo de escolha dos genótipos, seleção e testes em ensaios de competição de genótipos e registro de cultivares no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) (ALMEIDA et al., 2019).

Para a liberação da variabilidade genética dos genótipos de palma forrageira, têm-se realizado cruzamento, seguido da seleção dos clones gerados. Os métodos de melhoramento de palma forrageira consideram as fases de plantio comercial, utilizando o método de propagação vegetativa, obtenção de sementes e obtenção de plantas obtidas por sementes, que apresentam grande variação genética (BARRIENTOS PEREZ, 1981).

Dos genótipos mais difundidos no mercado, a seleção ocorreu por vigor, sendo, portanto, heterozigotos. Para que o melhoramento da cultura possa aproveitar a variabilidade escondida, é necessário que ocorra a segregação desses materiais por via sexual (SANTOS et al., 2005) e cruzamentos dirigidos. A maioria das espécies cultivadas do gênero *Opuntia* são provavelmente resultantes de polinização cruzada, realizada por abelhas (JACOBO e GONZALEZ, 2001; REYES-AGÜERO et al, 2006). No subgênero *Nopalea*, as espécies são alógamas, sendo os pássaros o principal agente polinizador (SCHEIVAR, 2001).

Comumente, a palma forrageira é propagada vegetativamente. Assim, em qualquer fase do programa de melhoramento, os genótipos que apresentam características favoráveis, sejam qualitativas ou quantitativas, podem ser fixadas geneticamente por meio da multiplicação e fracionamento dos cladódios, em larga escala, economizando tempo, principalmente por serem espécies perenes. São selecionados como genótipos superiores aqueles que são resistentes à Cochonilha-do-carmim, com ausência ou baixa incidência de pragas e doenças, alta produtividade, alta brotação, baixa espinhosidade e valor nutricional superior ou similar ao apresentado pelas variedades tradicionalmente cultivadas (COSTA et al., 2021).

Os resultados mais expressivos dos programas de melhoramento da palma forrageira no Nordeste, têm sido com relação na introdução e avaliação dos genótipos, com caracterizações morfológicas, moleculares, fisiológicas, químico-bromatológicas e seleção do material genético além dos estudos sobre biologia floral para realização de cruzamentos; obtenção de frutos com sementes oriundas de polinizações livres e/ou cruzadas para geração de novos genótipos e seleção destes (SILVA, et al 2021).

Além do melhoramento tradicional, podem ser utilizadas no melhoramento da cultura, a indução de haplóides e poliplóides *in vitro*. A biotecnologia representa uma ferramenta válida para melhorar a velocidade e a eficiência dos métodos tradicionais de melhoramento. Contudo, as pesquisas ainda são incipientes.

No MAPA para a espécie de *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck são 4 cultivares registradas, IPA 100004 n° 27851; IPA 200205 n° 27850; Palmepa PB1 27467 n° e Palmepa PB4 n° 27470 e da espécie *Opuntia stricta* Haw a cultivar IPA 200016 n° 27852 (MAPA, 2022). Atualmente, o IPA aguarda o registro de quatro genótipos, o F8 IPA-200008; OEM Lisa IPA-100672; OEA sem espinho IPA-100661 e a F21 melhorada IPA-100663 (SILVA, et al 2021).

Atendendo assim as necessidades dos pecuaristas do Semiárido brasileiro, os programas de melhoramento genético dessa cultura são extremamente importantes para obtenção de novos materiais genéticos, com maior potencial de produção (ALMEIDA et al., 2019) e resistência à estresses abióticos e ao ataque de pragas e doenças. Os genótipos de palma forrageira têm distintas capacidades de adaptação às condições locais, influenciando na sua taxa de sobrevivência e a suscetibilidade às pragas e doenças (CUNHA, 2017). Assim, nesses programas, é imprescindível que se conheça as características dos materiais vegetais (SILVA, 2018). Tais informações ajudam o melhorista a selecionar quais devem avançar nas etapas de seleção no programa de melhoramento (OLIVEIRA et al., 2019).

1.4 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE

De modo geral, o objetivo do melhoramento genético vegetal é selecionar genótipos que apresentem ganho quando comparados aos genótipos em uso pelos agricultores, que apresentam qualidade e produção consistentes. Ao utilizar os mesmos genótipos em ambientes distintos, pode ocorrer uma maior ou menor sensibilidade deles aos ambientes. Nos programas de melhoramento, é imprescindível que se conheça as características do material vegetal que influenciam nestes aspectos (SILVA, 2018). Os genótipos de palma forrageira têm distintas capacidades de adaptação às condições locais.

Ao avaliar dois ou mais genótipos em diferentes ambientes, pode ocorrer interação genótipo x ambiente (GxA), que se caracteriza pelo comportamento diferenciado dos genótipos frente aos diferentes ambientes. Na ausência da interação, um único experimento forneceria resultados universais para os genótipos avaliados. Experimentos multi-ambientais são conduzidos para se obter informações sobre o desempenho dos genótipos, frente a estas variações ambientais, para que eles sejam recomendados de forma segura. Na ausência da

interação, um único experimento forneceria resultados universais para genótipos, pois estes se adaptariam a vários locais. Experimentos multi-ambientais são conduzidos para se obter informações sobre o desempenho dos genótipos, frente a essas variações ambientais, para que eles sejam recomendados de forma segura.

O melhoramento genético monitora vários parâmetros, que são expressos no fenótipo e representados pela fórmula, $F = G + A + G \times A$. Onde F é fenótipo, G é genótipo, A é ambiente e $G \times A$ a interação genótipo x ambiente. Em um ambiente específico, a manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob influência do meio. Contudo, quando existem vários ambientes, além de se detectar o efeito genético e ambiental, esses dois efeitos também podem originar o efeito da interação ($G \times A$). A avaliação em diferentes ambientes (locais ou épocas), é de extrema importância para o melhoramento, pois no caso de sua existência, ocorre a possibilidade do melhor genótipo em um ambiente não o ser em outro (CARVALHO, 2002).

A interação $G \times A$ é classificada em dois tipos: (1) simples, quando ocorre uma mesma resposta dos genótipos em ambientes diversos, mas esta resposta não causa a inversão na classificação dos mesmos ou (2) complexa, quando existe uma falta de correlação entre os genótipos, causando uma inversão na classificação, ou seja, o lugar onde existe o melhor desempenho de um genótipo pode não ser o mesmo em outro(s) ambiente(s) (CRUZ et al., 2006).

Quando se deseja estimar os efeitos da interação $G \times A$ é necessário que o experimento seja conduzido em dois ou mais locais e/ou em épocas diferentes, para se obter a estimativa do erro experimental e se existe ou não significância na interação. Quanto maior o número de repetições, melhor será a estimativa do erro. Na ANOVA (Análise de Variância), a interação pode ser dividida em três componentes: $G \times A$ (genótipos x ambientes), $G \times A$ (genótipos x anos) e $G \times L \times A$ (genótipos x locais x anos). Com relação ao efeito aleatório ou fixo, a adoção do local como sendo um efeito fixo ocorre quando o mesmo não é escolhido de forma aleatória. Este mesmo motivo também justifica o uso de efeito aleatório para os anos (ARAÚJO, 2018).

Em ambientes favoráveis e desfavoráveis (genótipos com desempenho acima da média e abaixo da média), a combinação ideal é representada por genótipos com alto desempenho e baixa interação, pois o genótipo está expressando seu potencial genotípico em uma diversidade de condições ambientais (CECCARELLI, 1989).

Os procedimentos de estratificação ambiental são feitos para verificar se as informações geradas em diferentes locais de avaliação são complementares ou redundantes, analisando um conjunto de genótipos em vários ambientes (CRUZ, 2006). Como pressuposto, as diferenças

entre ambientes não são totalmente aleatórias nem totalmente sistemáticas, buscando-se então, determinar a estrutura dessa variação, distribuindo-a entre e dentro das regiões (CHAVES, 2003).

Outra possibilidade é estudar a dissimilaridade de ambientes, como objetivo identificar ambientes similares, onde os genótipos sejam estáveis e adaptados. Com a análise de estratificação ambiental e dissimilaridade de ambientes, a tomada de decisões nos permite fazer o descarte de ambientes, reduzindo os custos de implantação dos experimentos e identificando grupos de ambientes onde a interação GxA pode ser não significativa para o conjunto de genótipos disponíveis.

O melhoramento genético tende a explorar genótipos que sejam adaptados e produtivos em uma faixa de ambientes e/ou a condições específicas, adversas ou extremamente favoráveis (FELIPE; DUARTE; CAMARANO, 2010). A resposta produtiva da cultura é diretamente afetada pelas condições climáticas das diferentes microrregiões do Semiárido nordestino. É possível, com estudos de interação entre G x A, recomendar os genótipos mais adaptados a cada localidade. Avaliando a palma Miúda e Baiana e Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em 7 localidades de diferentes microrregiões do Piauí, foi possível identificar que o genótipo Baiana tem altos valores de produção de biomassa e capacidade de suporte para os animais (EDVAN et al., 2020).

Por si só, a identificação da interação não proporciona informações completas sobre o comportamento de cada genótipo diante das condições ambientais, sendo necessário conhecer outros aspectos e magnitudes da relação GxA. Utilizando o conhecimento da interação, pode-se indicar novos geótipos através dos estudos de adaptabilidade e estabilidade que visam compreender e atenuar as respostas genotípicas frente as variações ambientais, comportamento previsível e responsivos às variações ambientais.

1.5 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

Vários são os métodos para avaliar adaptabilidade e estabilidade. Eles diferem-se pelos parâmetros adotados, procedimentos biométricos e princípios estatísticos aplicados (CRUZ et al., 2012). Dentre eles cita-se, análise de variância (PLAISTED e PETERSON, 1959); regressão linear simples (FINLAY e WILKINSON, 1963; EBERHART e RUSSELL, 1966); regressão linear múltipla (VERMA et al., 1978; CRUZ et al., 1989), análise não paramétrica (LIN e

BINNNS, 1988), modelos mistos via RELM/BLUP (RESENDE, 2002) e análise de GGE biplot (YAN, 2011).

A adaptabilidade é uma estimativa quantitativa que fornece informações sobre a extensão ou não da plasticidade de um determinado genótipo, quando está sob influência de estresses abióticos, influenciando diretamente no desempenho dos mesmos. Assim, a resposta diferencial do genótipo a esses estresses são causa para GxA (SMITH, 1990). A adaptabilidade é avaliada pelo desempenho médio do genótipo. Já a estabilidade é o comportamento dos genótipos, mas para cada ambiente (BECKER e LEON, 1988), ou seja, às variações ambientais, que podem ser devidas a locais, anos ou outro fator qualquer. Estes estudos são imprescindíveis para o conhecimento sobre a capacidade do genótipo em assimilar vantajosamente os estímulos ambientais e manter o rendimento em ambientes diversos, dando maior seguridade para recomendação. Existem várias metodologias para o estudo da adaptabilidade e estabilidade a exemplo dos métodos de ecovalência, regressão linear e a análise gráfica GGE Biplot.

Proposto por WRICKE (1965), o método da ecovalência é difundido entre os melhoristas. Nele a estabilidade é estimada pelo quadrado da soma da interação GxA para cada genótipo em todos os ambientes. Nos métodos de regressão, uma das metodologias propostas é a de EBERHART e RUSSEL (1966), a pressuposição é que existe uma relação linear entre o comportamento de cada genótipo e o índice ambiental. Assim, o genótipo ideal é aquele que apresenta alta produção média e desvio da regressão menor possível. Outra metodologia utilizando da regressão é a metodologia da regressão linear bissegmentada, proposta por CRUZ, TORRES e VENVOCKY (1989), onde é possível detectar que se o genótipo não tem um bom desempenho em um determinado ambiente, mas ele pode ser responsivo, se as condições ambientais melhoram. A metodologia proposta por TOLER (1990), onde o genótipo é avaliado em uma elevada quantidade de ambientes e pode-se mostrar com dois padrões de resposta, convexo (quando o genótipo apresenta desempenho consistente em ambientes desfavoráveis, considerado desejável) e côncavo (quando genótipo tem uma sensibilidade no ambiente abaixo considerado indejesável).

Um método baseado em análise não-paramétrica é o de LIN e BINNS (1988), que tem como princípio procurar os genótipos superiores, definido como aqueles que apresentam performance próxima do máximo nos vários ambientes testados. Essa metodologia é feita por meio de um parâmetro P_i , que está associado à estabilidade e à produtividade. O índice de estabilidade P_i é o desvio do genótipo “i” em relação ao material de desempenho maior em cada ambiente. Portanto, quanto menor for o valor de P_i , mais adaptado é o genótipo aquele

ambiente ou conjunto de ambientes. Essa metodologia considera o desvio sempre em relação ao máximo e estima o quadrado médio da distância em relação ao desempenho nos vários locais

Outra metodologia que é bem aceita entre os melhoristas para o estudo de adaptabilidade e estabilidade é o modelo GGE biplot, que considera de forma conjunta, o efeito principal de genótipo e a interação genótipo e ambiente (YAN, 2011) além de tornar possível a redução de custos dos ensaios e identificar genótipos superiores, que sejam adaptados amplamente ou especificamente aos ambientes.

O maior benefício dessa metodologia é permitir que um grande número de genótipos sejam testados em diversas condições ambientais. Esse método baseia-se na análise de componentes principais e visa explorar totalmente os ensaios multi-ambientes, mostrando as relações entre os ambientes de teste, genótipos e as interações GxA, além do desempenho médio e da estabilidade de cada genótipo.

Basicamente são interpretações gráficas de matrizes, onde é possível a visualização do comportamento dos genótipos que apresentam melhor adaptabilidade e estabilidade nos ambientes. Para a construção do gráfico, são utilizados os dois primeiros componentes principais de uma Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando Modelos de Regressões Lineares Locais (SREG). O primeiro componente principal representa o rendimento atribuído ao genótipo, e o segundo componente principal representa a parte do rendimento devido a interação genótipo por ambientes (YAN e HOLLAND, 2010; YAN, 2011). A correlação genética entre dois ambientes é o cosseno do ângulo, tornando essa metodologia mais eficiente em relação a outras técnicas baseadas em biplot (YAN, 2011).

Um dos objetivos dos programas de melhoramento é encontrar indivíduos que tenham produtividade maior que a média, sejam estáveis e de ampla adaptação. O gráfico de “Rendimento x Estabilidade” permite avaliar genótipos de alto desempenho e alta estabilidade, já que a adaptabilidade dar-se em função do rendimento. Esse gráfico é composto por uma reta EAM (eixo do ambiente-médio) de cor verde, com uma seta, que passa pela origem do biplot e do ambiente média, uma reta também de cor verde, sem seta, que define maior variabilidade de desempenho e menor estabilidade (YAN e WEIKAI 2003). Para a interpretação, deve-se observar tanto o rendimento quanto a estabilidade. Com relação ao rendimento, deve-se guiar pelo sentido da reta com seta e observar quais genótipo localizam-se no mesmo sentido. Em relação à estabilidade, observar as retas pontilhadas, perpendiculares a reta EAM. Quanto maior for o comprimento da linha pontilhada, menor é a estabilidade do genótipo.

1.6 PARÂMETROS GENÉTICOS E REPETIBILIDADE

Os componentes de variância genéticos para as características de importância econômica auxiliam nas estratégias de seleção de genótipos nos programas de melhoramento genético (EVANGELISTA et al., 2019). Isso é importante para aumentar a probabilidade de se obter genótipos superiores, a partir de cruzamentos direcionados e posterior seleção dos indivíduos que apresentem características desejáveis (PAIXÃO, 2012).

Para estimar os componentes de variância, uma metodologia utilizada é a do Método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML) considera a perda de graus de liberdade resultante da estimação dos efeitos fixos e as estimativas caem sempre dentro do espaço paramétrico (BARBOSA et al., 2015). Dentre as vantagens, citam-se a capacidade de geração de estimativas não negativas de componentes de variância; não ser afetado por mudanças nos efeitos fixos; consistência, eficiência e flexibilidade por não exigir delineamentos balanceados (RESENDE et al., 1996) pois considera a covariância genética entre as observações e ponderar os genótipos com desigual número de informações na mesma geração ou em diferentes gerações.

Para palma forrageira, REML já foi utilizada, com elevada precisão na obtenção das estimativas de parâmetros genéticos (PAIXÃO, 2012). Em capim-elefante, os genótipos foram selecionados com base na produção de matéria seca, utilizando essa mesma metodologia onde foi possível observar a influência da variância ambiental na variância fenotípica para várias características, como largura comprimento e da folha e também os genótipos com maior potencial para produção de biomassa (MENEZES et al., 2016).

Ao escolher um genótipo, espera-se que sua superioridade e desempenho inicial sejam perpetuados ao longo de suas gerações e que estes efeitos reflitam o potencial do mesmo. Para comprová-los, o coeficiente de repetibilidade é obtido quando a medição de um determinado caráter é realizada repetidas vezes, no tempo e no espaço. Além disso, a repetibilidade expressa o valor máximo que a herdabilidade pode atingir (CRUZ et al., 2006).

Quando os valores do coeficiente de repetibilidade da característica são altos, isso indica a possibilidade de prever o comportamento desses indivíduos com um número relativamente pequeno de medições (CORNACCHIA et al., 1995). Mas, do contrário, quando a repetibilidade é baixa, será necessário um grande número de repetições para se obter um valor de determinação satisfatório. Desse modo, conhecer esse coeficiente permite, portanto, que sejam realizados ajustes na fase de avaliação com mais eficiência e economia de tempo e mão-de-obra (DELLA BRUNA et al., 2012).

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Atêlie Editorial, 2003. 32p.
- AESA, 2021. Prognóstico climático para o estado da Paraíba.
- ALBUQUERQUE, S. G. de; SANTOS, D. C. dos. **Palma-forrageira**. In: KIILL, L. H. P.; MENEZES, E. A. (Ed.). **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semi-árido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. cap. 3, p. 91-127. Disponível em: . Acesso em: 22 junho de 2021.
- ALMEIDA, I.V.B; SOUZA, J.T.A.; BATISTA, M.C. Melhoramento genético de plantas forrageiras xerófilas. **Pubvet**, v.13, n.8, p.1-11, 2019.
- ARAÚJO, M.F.C. **Interação tripla genótipos × locais × anos: um teste estatístico para verificar a contribuição de cada fator**. 94f, 2018. (Tese de doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, SP.
- ARAÚJO, J.S.; PEREIRA, D.D.; LIRA, E.C.; FÉLIX, E.S.; SOUZA, J.T.A.; LIM, W.B. **Palma forrageira: plantio e manejo**. Campina grande – PB: INSA, 2019, 60p.
- BALDINI et al. Analisi energetiche di alcune colture arboree da frutto. **Riv. Ingegneria Agraria**, v.13. p.73-201. 1982.
- BARBOSA, Antônio G. **Sociedade civil na construção de políticas de convivência com o semiárido**. Recife: ASA, 2010.
- BARBOSA, L.; LOPES, P.S.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A.J.; TORRES, R.A.; COSTA, A.R.C.; SANTANA JUNIOR. Comparação entre modelos para estimação de parâmetros genéticos em características de desempenho em suínos da raça Large White, **Revista Ceres**, v.55, n.1, p.60-65, 2015.
- BARBERA, G. History, economic and agroecological importance, pp.1-11. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA, E.B.; ARIAS, E.J. Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Roma, Italy, 280p.
- BARRIENTOS PEREZ, F. **El nopal (*Opuntia spp.*): Su mejoramento y utilizacion en México**. Metepec: CADAGEN, p. 20. 1981.
- BECK, S.L.; DUNLOP, R.W.; FOSSEY, A. Stomatal length and frequency as a measure of ploidy level in black wattle, *Acacia mearnsii* (de Wild). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.141, n.2, p.177-181, 2003.
- BECKER, H.C. Correlations among some statistical measure of phenotypic stability. **Euphytica**, v. 30, p. 835-840, 1981.
- BECKER, H.C.; LÉON, L. Stability Analysis in Plant Breeding, **Plant Breeding**, n. 101, p. 1-23, 1988.
- BEZERRA, B.G., ARAÚJO, J.S.; PEREIRA, D.D.; LAURENTINO, G.Q.; SILVA, L.L. **Revista Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.7, p.755-761, 2014.

BOFF, L. **Cuidar da Terra, proteger a vida: como evitar o fim do mundo: Como evitar o fim do mundo**. Rio de Janeiro: Record, 2010, 23-31p.

BRAVO FILHO, E.S.; SANTANA, M.C.; SANTOS, P.A.A.; RIBEIRO, A.S. Levantamento etnobotânico da família Cactaceae no estado de Sergipe. **Revista Fitos**, v. 12, n.1, p.41-53, 2018.

CANTWELL, M. **Manejo pós-colheita de frutas e verdura de palma forrageira**. In. **Agroecologia cultivos e usos da palma forrageira**. Estudo da FAO em produção e proteção vegetal. p.123-139, 2001.

CAMPOS, et al. Convivência com o Semiárido Brasileiro: Autonomia e Protagonismo Social. **Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome**. IABS, Brasília, 2013, 19p.

CAMPOS, S., et al. Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Agric. For. Meteorol.**, v.471, p.398-412, 2019.

CARVALHO-NETO, F.G.; SILVA, J.R.; SANTOS, N.; ROHDE, C.; GARCIA, A.C.L.; MONTES, M.A. The heterogeneity of Caatinga biome: an overview of the bat fauna. **Mammalia**, v.81, n.3, p.257-264, 2017. CARDOSO, D.B., et al. Growth performance, carcass traits and meat quality of lambs fed with increasing levels of spineless cactos. **Animal Feed Science and Technology**, v.272, p.13-17, 2021.

CASTRO, A.M. **Fome, um tema proibido: últimos escritos de Josué de Castro**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 4 ed, 2003, 48p.

CECCARELLI, S. Wide adaption: How wide? **Euphytica**, v.40, p.197-205, 1989.

CHAVES, L.J. **Interação de genótipos com ambientes**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Rondonópolis: Fundação MT, 2003, 47p.

CORNACCHIA, G.; CRUZ, C.D.; LOBO, P.R.; PIRES, I.E. Estimativas do coeficiente de repetibilidade para características fenotípicas de procedências de *Pinus tecunumanii* (Schw.). **Revista Árvore**, v.19, n.3, p.333-345, 1995.

COSTA ET AL. Conservação e Uso de Germoplasma dos BAG do Instituto Agrônomo de Pernambuco: Forrageiras e Fruteiras Nativas/Exóticas. **Revista de Recursos Genéticos**, v. 7 n.1, p. 1-11, 2021.

CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, p. 567-580, 1989.

CRUZ, C.D. Programa Genes: biometria. genético. Viçosa: UFV, 2006, 586 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, A.J.; SOUZA, P.C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2012, 377p.

CUNHA, J.T.S.F. **Avaliação de progênies do clone de palma Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata* Griffithis)**. 69f, 2017. (Dissertação) Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, PE.

DELLA BRUNA, E.; LUÍS, A.; MARCO, M.; DALBÓ, A. Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o litoral sul de Santa Catarina. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 34, n.1, p.206-215, 2012.

DE WIT, 2020: Antioxidant Content, Capacity and Retention in Fresh and Processed Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*) Fruit Peels From Different Fruit-Colored Cultivars. **Front. Sustain. Food Syst**, v.4, n.133, p.3-11, 2020.

DOMINGUES, O. Origem e introdução das palmas forrageiras no Nordeste. **Revista de Agricultura**, v. 35, n. 3, p. 220-227, 1960.

DUARTE, J.B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução à análise AMMI. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p.

DU TOIT, L.; BOTHMA, C.; WIT, M.; HUGO, A. Replacement of gelatin with liquid *Opuntia ficus-indica* mucilage in marshmallows. **JPAC**, v.18, p.25-39, 2016.

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966.

EVANGELISTA, A.F.; CAVALCANTE, D.H.; FONSECA, W.J.L.; BARROS JUNIOR, J.P.; CAMPELO, J.E.G.; SOUZA JÚNIOR, S.C. Herdabilidade de características de crescimento em bovinos da raça Nelore utilizando métodos da Máxima Verossimilhança Restrita e Inferência Bayesiana. **Arch. Zootec**, v.68, n.263, p.440-445. 2019.

FALCÃO, A.J.S.; MARTINS, E.N.; COSTA, C.N.; MAZUCHELI, J. Efeitos do número de animais na matriz de parentesco sobre as estimativas de componentes de variância para produção de leite usando os métodos de máxima verossimilhança restrita e Bayesiano. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.38, n.8, p.1478-1487, 2009.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Imprensa Universitária, 1987, 279p.

FELIPE, C.R. P.; DUARTE, J.B.; CAMARANO, L.F. Estratificação ambiental para avaliação e recomendação de variedades de milho no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.2, p. 186-199, 2010.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.14, p.742-754, 1963.

FLORES, CAV. **Producción, industrialización y comercialización del nopal como verdura em México**. CIESTAAM -UACH. Chapingo, México, 1994. 18p. Holfman (2001).

GABRIEL, K.R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.

GALLEGOS-VÁZQUEZ, C.; CERVANTES-HERRERA, J.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. **Manual Gráfico para la descripción varietal del Nopal tunero y Xoconostle (*Opuntia spp.*)**. Chapingo, México, 2005, 116p.

GALVÃO JÚNIOR, J. G. B.; SILVA, J. B. A.; MORAIS, J. H. G.; LIMA, R. N. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.8, n.2, p.78-85, 2014.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. **AMMI analysis of yield trials**. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed) Genotype by environment interaction. New York: CRC Press, p.416-428, 1996.

GARBUGLIO, D.D. **Metodologia de estratificação ambiental e adaptabilidade via análise de fatores associada aos efeitos genotípicos e de interação genótipos por ambientes**. 105f, 2010. (Tese de doutorado) Universidade Federal de Lavras, UFV, Lavras, MG.

GOMES, J.P.; FILHO, F.F.D. Palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*): uma temática sociocultural para o ensino de química na educação básica na perspectiva da educação inclusiva. **Revista Educação Inclusiva**, v.4, n.04, p.176-189, 2020.

GODGE, C.M.; MASON-D’CROZ, D.; MAYBERRY, D.E.; THORNTON, P.K.; HERRERO, M. Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. **Global Food Security**, v.28, p.1-17, 2021.

GOUVEIA, L.N.F., et al. Perfil metabólico de ovinos em crescimento alimentados com dietas constituídas de feno ou silagem de maniçoba e palma forrageira. **Pesq. Vet. Bras.**, v.3, p. 5-9, 2015.

GRIFFITH, MP. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. **American Journal Botany**, v. 91, n. 11, p. 1915-1921, 2004.

HEBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science Society of America**, Madison, v. 6, p. 36-40, 1966.

IBGE/SIDRA. Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censoagropecuario-2017>. Acesso em: 20 fev. 2021.

INGLESE, P. **Plantação e manejo do pomar**. In: BARBERA, G; INGLESE, P (Eds.). Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001, p.79-93.

INKAVA, D.J.; PARFITT, B.D.; BAKER, M.A.; WORTHINGTON, R.D. Chromosome numbers in some cacti of western North America. **Madroño**, v.39, p.98-113, 1992.

JACOBO, CM; GONZÁLEZ, SP. (Eds.). **Cactus (*Opuntia* spp.) as forage**. FAO Plant Production and Paper, p. 90, 2001.

LE HOUÉROU, H. N. **Ecologie et desertization en Afrique**. Travaux de l’Institut Geographique de Reims, 1978.

LEISNER, C.P. Review: Climate change impacts on food security- focus on perennial cropping systems and nutritional value. **Plant Science**, 293. 2020.

LIM. T.K. ***Nopalea cochenillifera***. Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. Springer, Netherlands, 2012, 656-659p.

LIMA, A.G.; SALES, A.T.; ARAÚJO, J.S.; GOMES, V.S. **Palma forrageira no Semiárido: produção de mudas por facionamento da raquete**. Campina Grande – PB, INSA – Instituto Nacional do Semiárido, 2021, 36p.

- LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar× location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, 193-198, 1988.
- LOPES, E.B. et al. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp) e (*Nopalea* spp) resistentes à Cochonilha- do- Carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) na Paraíba. **Engenharia Ambiental**, v.7, n.1, p.204-215, 2010.
- LOPES, E.B.; VASCONCELOS, M.F. Zoneamento agrícola de risco climático para a cultura de palma forrageira no estado da Paraíba. In: LOPES, E.B. (Ed.). **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido Nordeste**. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, p.169–202, 2012.
- MACÊDO, A.J.S.; NETO, J.C.; OLIVEIRA, L.B.; EDVAN, R.L., SANTOS, E.M. A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras. **Braz. J. of Develop.**, v.6, n.8, p. 62967-62987 2020.
- MAJURE, L.C.; JUDD, W.S.; SOLTIS, P.S.; SOLTIS, D.E. Cytogeography of the *Humifusa* clade of *Opuntia* sp. Mill. (Cactaceae, Opuntioideae, Opuntieae): correlations with pleistocene refugia and morphological traits in a polyploid complex. **Comparative Cytogenetics**, v.6, n.1, p. 53-77, 2012.
- MATHESON, A.C., COTTERILL, P.P. Utility of genotype × environment interactions. **Forest Ecology and Management**, v.30, n.4, p.159-174, 1990.
- MATTOS, P.H.C. de. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no Estado do Paraná pelos métodos AMMI e GGE Biplot no Estado do Paraná**. 42f, 2012. Dissertação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.
- MARIOTTI, J.A.; OYARZABAL, E.S.; OSA, J.M.; BULACIO, A.N.R.; ALMADA, G.H. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de cana de azúcar. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, v.13, n.14, p.105-127, 1976.
- MARQUES, O.F.C.; GOMES, L.S.P.; MOURTHÉS, M.H.F.; BRAZ, T.G.S.; NETO, O.S.P. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cad. Ciênc. Agra.**, v.9, n.1, p.75-93, 2017.
- MENDES, et al. Seasonal variation in net ecosystem CO₂ exchange of a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Scientific Reports**, v.10, p.9454, 2020.
- MENEZES et al. Metodologia REML/BLUP em capim-elefante. **Rev. Cien. Agra.**, vol. 39 n. 3, p. 1-6, 2016.
- MONDRAGÓN-JACOB, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. Germplasm resources and breeding *Opuntia* for fodder production. In: MONDRAGÓN-JACOB, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. **Cactus (*Opuntia* spp.) as forage**. **FAO Plant Production and Protection**, Rome, p.21-28, 2001.
- MOURA, M.S.B, SOUZA, L.S.B.; SILVA, T.G.F., SÁ, I.I.S. **Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco**: Embrapa Semiárido, 2011, 26p.

NEDER, D.G.; COSTA, F.R.; EDVAN, R.L.; SOUTO FILHO, L.T. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, n.3, p.203- 207, 2013.

NERD, A.; MIZRAHI, Y. Reproductive biology. In: Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear (BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIANTA, E.B.; ARIAS, E.J., eds.). Rome, FAO. p. 49–58, 1995.

NICANOR, A.B.; HERNÁNDEZ, E.N.H.; GOIZ, J.M.S.; SOTO, J.L.S.M.; ORTIZ, M.E.R.; CRUZ, L.G. Quality of *Opuntia robusta* and its use in development of mayonnaise-like product. **Journal of Food Science and Technology**, v.52,p.343–350, 2015.

NOBEL, P.S. **Biologia ambiental**. In: BARBERA, Guisepe; INGLESE, Paolo (Eds.). Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p.36-57.

KIESLING, R. 1998. Origen, domesticacion y distribucion de *Opuntia ficus-indica*. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 3. Online at <http://www.jpacd.org/contents1998.htm>

NOGUEIRA, M. **Redimensionamento da região semi-árida do Nordeste do Brasil**. Conferência Nacional e Semiárido Latino-Americano da Desertificação, p.7, 1994.

OLIVEIRA, C.S., PEIXOTO, J.V.M., MOMESSO, M.P., PEREIRA, L.M., PERES, H.G., MACIEL, G.M. Características de plântulas: dissimilaridade genética entre acessos de pimenta. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v.9, n.1, p.2-8, 2019.

PAIXÃO, S.L. **Avaliação morfológica de clones e progênies de palma forrageira**. 2012. 70 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PASTORIZA, R.J.G. **Biologia Floral da Palma Forrageira: ocorrência de mecanismos reprodutivos e causa do abortamento de frutos**. 71f, 2016. Dissertação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal**, Orono, v.36, p.381-385, 1959.

PBMC: **Base científica das mudanças climáticas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, p.464, 2014.

PEREIRA, J. S.; CAVALCANTE, A. B.; MACIEL, M. G.; MELO, D. A.; LUCENA, L. R. R.; LEITE, M. L. M. V. Crescimento inicial de palma forrageira em função da cura de segmentos dos cladódios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2015, Fortaleza. **Anais...**, 2015.

PIMENTA, B.E.; BARBARA, G.; INGLESE, P. Cactus pear (*Opuntia* spp. Cactaceae) International Network: An effort for productivity and environmental conservation for arid and semiarid lands. **Cactus and Succulent Journal**, v. 65, p. 225-229, 1993.

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

PINKAVA, D.J.; PARFITT, B.D.; BAKER, M.A.; WORTHINGTON, R.D. Chromosome numbers in some cacti of western North America. VI. **Madroño**, v. 39, p. 98-113, 1992.

POWELL, A.M.; WEEDIN, J. F. Chromosome numbers in Chihuahuan desert Cactaceae. III. Trans-Pecos Texas. **American Journal of Botany**, v. 88, n. 3, p. 481-485, 2001.

QUEIROZ, M.; VARNERO, M.T.; GUEVAS, J.G.; SIERRA, H. Cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in areas with limited rainfall for the production of biogas and biofertilizer. **Journal Of Cleaner Production**, v.289, n.20, p.1-21, 2021.

REINOLDS, Stephen G.; ARIAS, Enrique. **General background on opuntia**. Disponível em: <http://www.fao.org/DOCREP/005/2808E/y2808e04.htm> Acessado em 14 de janeiro de 2022.

RESENDE, M.D.V.; PRATES, D.F.; YAMADA, C.K. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em *Pinus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.32, n.33, p.18-4, 1996.

RESENDE, M.D.V. Ccorrelação intraclasse entre valores genéticos e implicações de métodos de seleção. **Floresta**, v.24, n.12, p.37-48, 1994.

ROCHA, R.S.; VOLTOLINI, T.V.; GAVA, C.A.T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v.66, p.363-371, 2017.

SANTOS, D.C.; LIRA, M.A.; DIAS, F.M. Melhoramento genético da palma forrageira. 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**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005, 42p.

SANTOS, D.C.; SILVA, M. C.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; LIRA, M.A.; SILVA, R.M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: Novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v.15, n.2, p.111-121, 2013.

SALVADOR, R. S.; JARDIM, A. M. R.; ARAÚJO JUNIOR, G. N.; ALVES, C. P. A.; PINHEIRO, A. G.; PEREIRA, R. C. G.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Bras. Geog. Fís.**, p. 1-22, v. 14, n. 4, 2021.

SILVA, C.C.F.; SANTOS, L.C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v.7, n. 10, p.1- 13, 2006.

SILVA et al. Cultivo de genótipos de palma forrageira sob agricultura bioassalada como alternativa para incremento do aporte forrageiro do semiárido brasileiro: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v.10, n.5, p.1-14, 2021.

STEVENS, P.F. **Angiosperm phylogeny**. 2015 Disponível em: <<http://www.bot.org/MOBOT/research/APweb>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2021. Acesso em 08 de fevereiro de 2021.

SAMPAIO, E.V.S.B. Fisiologia da palma. **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Ed. Universitária da UFPE, 2005. p.43-55.

SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; NASCIMENTO, M.M.A., LIRA, M.A.L.; TABOSA, J.N. Estimativas de parâmetros genéticos em clones de palma forrageira *Opuntia ficus indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm - Dyck. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.12, p.1947 - 1957, 1994.

SANTOS, D.C.; LIRA, M.A.; DIAS, F.M. Melhoramento genético da palma forrageira. 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**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005, 42p.

SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; ARRUDA, G.P.; COELHO, R.S.B.; DIAS, F.M.; MELO, J.N. **Manejo e utilização da palma forrageira (OpuntiaeNopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p.

SANTOS, F.D.A.; AQUINO, C.M.S. Panorama da desertificação no nordeste do Brasil: características e suscetibilidades. **Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v.2, n.7, p.144, 2017.

SCHISTEKV, H. **O Semiárido Brasileiro: uma região mal compreendida**. 2013, 45-67p.

SEGANTINI, D.M.; TORRES, L.M.; BOLIANI, A.C.E.; LEONEL, S. Fenologia da figueira-da-índia em Selvíria-MS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.2, p.630-636, 2010.

SHAO, J., CHEN, C.; DENG, X. In vitro induction of tetraploid in pomegranate (*Punica granatum*). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.75, n.3, p.241-246, 2003.

SILVA, C.C.F.; SANTOS, L.C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v.7, n. 10, p.1- 13, 2006.

SILVA, R.T.S. **Trocas gasosas, caracterização, citogenética e vigor de sementes dos gêneros Opuntia E Nopalea**. 115f, 2019. Tese de doutorado, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Areia, PB.

SILVA, N.V.; BEZERRA, J.D.C. NASCIMENTO JÚNIOR, J.R.S.; NASCIMENTO, D.B.; ANDRADE, A.P. Polimorfismo em genótipos de palma forrageira com diferentes graus de resistência ao *Dactylopius opuntiae*. In: **Anais III Congresso Internacional das Ciências Agrárias**, 2018, João Pessoa-PB. III COINTER, 2018.

- SILVA et al. Cultivo de genótipos de palma forrageira sob agricultura bioassalada como alternativa para incremento do aporte forrageiro do semiárido brasileiro: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v.10, n.5, p.1-14, 2021.
- SMITH, H. Signal perception, differential expression within multigene families, and the molecular basis of phenotypic plasticity, **Plant Cell Environment**, v.13, p.585–594, 1990.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- TARGINO, I.; MOREIRA, E. Agricultura familiar na Paraíba: perfil com base no censo agropecuário de 2017. **Rev. Econ.** v. 51, suplemento especial, p. 133-154, 2020.
- TELES, R. Tecnologias sociais para a convivência com o Semiárido: uso de cisternas domiciliares em comunidades rurais do Ceará. **Revebea**, v.15, n. 5, p.320-330, 2020.
- TOLER, J.E. **Patterns of genotypic performance over environmental arrays**. 1990. 154p. Thesis (Ph.D)-Clemson University, Clemson.
- VASCONCELOS, AGV et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n5, p. 827-831, 2009.
- VASCONCELOS, D.A.; MACEDO, A.S.A.; ZIERER, M.S. Número de cromossomos em populações de *Nopalea cochenillifera* (L.) do Município de Floriano/PI, Brasil. In: 2ª reunião brasileira de citogenética. **Anais.Águas de Lindóia**, 2011.
- VERMA, M.M.; CHAAL, G.S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theor. Appl. Genet.**, v.53, p.89-91, 1978.
- VIEIRA, E.A. et al. Comparação entre medidas de distância genealógica, morfológica e molecular em aveia em experimentos com e sem a aplicação de fungicida. **Bragantia**, v. 64, n.1, p.51- 60, 2005.
- YAN, W.; HOLLAND, J.B.A. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, v.171, p.355-369, 2010.
- YAN, W. GGE biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**, v.65, n.2, p.181-193, 2011.

CAPÍTULO II

AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA EM ENSAIOS MULTI-AMBIENTES PELO MODELO GGE BILOT

RESUMO

Gênero *Opuntia* sp. e subgênero *Nopalea* sp. pertencem a família das cactáceas e são os mais utilizados no Semiárido brasileiro para a alimentação animal e podem responder de maneiras diferentes aos estímulos ambientais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar três genótipos de palma forrageira pelo método GGE biplot em ensaios multi-ambientes, verificando a formação de mega-ambientes, discriminação e representatividade, a fim de indicar ambientes favoráveis ao cultivo da palma forrageira no Semiárido paraibano. Foram utilizados os genótipos de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda, todos resistentes à Cochonilha-do-carmim. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os experimentos foram avaliados por dois anos quanto ao número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódio e peso de massa seca por planta. Foi realizada análise de variância univariada conjunta para o fator ambiente (combinação de local e ano). Para o estudo da interação GxA, foi realizada a análise gráfica de GGE biplot para verificar a formação de mega-ambientes e de ambientes discriminantes e representativos. Os efeitos dos genótipos, ambientes e GxA foram significativos, denotando diferentes respostas dos genótipos em diferentes locais. Assim, o biplot mostrou que para as características de número de cladódios por planta e peso médio de cladódio, houve formação de um setor contendo todos os ambientes. Para as características de peso de massa verde por planta e peso de massa seca por planta, houve a formação também de um setor, contendo sete dos dezesseis ambientes avaliados. Para a característica de número de cladódios por planta, o genótipo Miúda foi o vencedor e, para as demais, Orelha de Elefante Mexicana. Quanto a capacidade de discriminação e representatividade, destaca-se o ambiente 3 (Teixeira) para número de cladódios por planta. O ambiente 7 (Zabelê) destaca-se para todas as variáveis de produção. Este ambiente apresenta média de chuvas anuais de 220 mm, altitude de 649 m, temperatura mínima de 18 °C e máxima de 30,6 °C além de teores de potássio e carbono no solo em torno de 170 cmolc kg⁻¹ e 9 g.kg⁻¹, respectivamente. O ambiente de Princesa Isabel é um ambiente altamente discriminativo, porém com pouca representatividade, podendo ser usado para adaptação específica do genótipo Miúda.

Palavras – chave: *nopalea* sp.; *opuntia* sp.; foragem; mega-ambiente.

ABSTRACT

Genus *Opuntia* sp. and subgenus *Nopalea* sp. belong to the cactus family and are the most used in the Brazilian semiarid for animal feed and can respond in different ways to environmental stimuli. Thus, the objective of this work was to evaluate three forage cactus genotypes by the GGE biplot method in multi-environment trials, verifying the formation of mega-environments, discrimination and representativeness, in order to indicate favorable environments for the cultivation of forage cactus in the semi-arid region of Paraíba. Orelha de Elefante Mexicana, Baiana and Miúda, all resistant to Carmine Cochineal, were used. The experimental design was randomized blocks, with four replications. The experiments were evaluated for two years regarding the number of cladodes per plant, weight of green mass per plant, average cladode weight and dry weight per plant. Joint univariate analysis of variance was performed for the environment factor (combination of location and year). For the study of the GxA interaction, a graphical analysis of GGE biplot was performed to verify the formation of mega-environments and of discriminating and representative environments. The effects of genotypes, environments and GxA were significant, denoting different responses of genotypes in different locations. Thus, the biplot showed that for the characteristics of number of cladodes per plant and average cladode weight, there was formation of a sector containing all environments. For the characteristics of weight of green mass per plant and weight of dry mass per plant, there was also the formation of a sector, containing seven of the sixteen environments evaluated. For the number of cladodes per plant, the Miúda genotype was the winner and, for the others, Orelha de Elefante Mexicana. As for the capacity for discrimination and representativeness, environment 3 (Teixeira) stands out for the number of cladodes per plant. Environment 7 (Zabelê) stands out for all production variables, with an average annual rainfall of 220 mm, altitude of 649 m, minimum temperature of 18 °C and maximum of 30.6 °C, in addition to potassium and carbon contents in the soil around 170 cmolc kg⁻¹ and 9 g.kg⁻¹, respectively. The Princesa Isabel environment is a highly discriminative environment, but with little representation, and can be used for specific adaptation of the Miúda genotype.

Keywords: *nopalea* sp.; *opuntia* sp; forage; mega-environments.

1 INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Opuntia* e subgênero *Nopalea* apresentam diferenças agronômicas que podem ser favorecidas pelas características climáticas. Ambas têm potencial para produção de forragem em comparação com outras espécies de cactos (EDVAN et al., 2020). É considerada um “hidroalimento” por armazenar no interior de seus cladódios 90% de água, auxiliando no suprimento hídrico do rebanho ovino, caprino e bovino. Em 400 toneladas de matéria verde por hectare, essa forrageira pode fornecer em torno de 360.000 litros de água ao rebanho (CÂNDIDO et al., 2013; NEVES et al., 2020).

Estudos que demonstrem o desenvolvimento dos genótipos nos mais diversos ambientes influencia não só no aspecto produtivo e econômico dos estabelecimentos rurais, mas também facilita a gestão dos riscos, implementação de estratégias de geração de renda e troca de conhecimento entre os agricultores e pesquisadores (DE LUCA et al., 2017; NEWIG et al., 2018). Portanto, em programas de melhoramento, a identificação de genótipos superiores ao longo dos anos e a possibilidade de subdividir as regiões em grupos de ambientes que tenham GxA (genótipo x ambiente) semelhantes, diminui o custo de realização de ensaios de campo e otimiza a gestão de tempo (KRISHNAMURTHY et al., 2017).

A interação é definida como sendo a variação de desempenho de um genótipo em diferentes ambientes (SHARIFI et al., 2017), de modo que, a seleção e recomendação de um determinado genótipo, prioritariamente, passa pelo entendimento dessa interação (JAT et al., 2017). Uma das abordagens estatísticas utilizadas na avaliação da interação é a representação gráfica GGE biplot. Nela, são apresentados dois componentes principais, PC1 e PC2, derivados da decomposição dos valores singulares dos efeitos de genótipo (G) + (GxA). PC1 indica a adaptabilidade dos genótipos correlacionada com o rendimento e PC2 está com a interação. (YAN et al., 2001; RAMALHO et al., 2012).

Assim, o efeito do genótipo (G) decorre do desempenho dos genótipos ao longo dos ambientes, enquanto a interação GxA é proveniente de um desempenho diferencial dos genótipos ao longo dos ambientes. Essa metodologia também auxilia na identificação de mega-ambientes (é considerado mega-ambiente quando existe mais de um ambiente no setor formado pelos vértices do polígono dos genótipos e estes são repetíveis ao longo dos anos), locais de teste e recomendação dos melhores genótipos. Ainda não existem estudos relatados na literatura com a incorporação da metodologia GGE biplot para inferir sobre a recomendação de genótipos de palma forrageira, com um número de ambientes representativos da região Semiárida do Brasil, principalmente paraibana.

A indicação de ambientes favoráveis ao cultivo da palma forrageira deve ser a mais segura possível, de modo a auxiliar os programas de melhoramento na elaboração de estratégias de seleção. O objetivo deste trabalho foi avaliar três genótipos de palma forrageira pelo método GGE biplot em ensaios multi-ambientes, verificando a formação de mega-ambientes, discriminação e representatividade, a fim de indicar ambientes favoráveis ao cultivo da palma forrageira no Semiárido paraibano.

2 METODOLOGIA

Área de estudo e implantação do experimento

Os ensaios foram realizados em 16 municípios do Semiárido Paraibano, entre os anos de 2013 e 2015. Cada área com 1 hectare, foi subdividida em dois campos experimentais para a coleta de dados no primeiro ano e ao final de dois anos. Os municípios pertencem a Mesorregião do Sertão Paraibano (Microrregiões, Cajazeiras, Piancó, Itaporanga e Serra do Teixeira), Mesorregião da Borborema (Microrregiões do Seridó Ocidental, Cariri Ocidental e Cariri Oriental); e as terras do Planalto da Borborema, conhecidas como Curimataú, representadas pela Microrregião do Curimataú Ocidental (Tabela 1).

Foi realizada limpeza das áreas, aração e gradagem. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições. O espaçamento foi o de 1,5×0,5×0,5 m em sistema de fileiras duplas, correspondente à uma densidade de 20.000 plantas ha⁻¹. Adubos orgânicos foram aplicados em todos os campos experimentais 60 dias após o plantio. Foram utilizados esterco bovino via solo na dosagem de 20,0 ton.ha⁻¹, ácido húmico no solo e fúlvico via foliar na dosagem de 5 L.ha⁻¹, respectivamente. Ambos os ácidos foram diluídos em água na proporção de 1:100 (v:v). Localização, altitude e precipitação foram georreferenciadas e encontram-se na Tabela 1 e a caracterização individual dos atributos químicos e físicos do solo encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 – Localização das áreas experimentais e precipitação no período de agosto de 2013 a agosto de 2015.

Municípios	Localização			Altitude (m)	Temperatura (min - máx)	Precipitação (mm ano ⁻¹)		
	Microrregião	Latitude	Longitude			2013/2014	2014/2015	Volume acumulado
1 Boqueirão	Cariri Oriental	7° 28' 54" S	36° 08' 06" O	355	20 - 31,4 °C	82,4	232,9	300
2 Cuité	Curimataú Ocidental	6° 29' 01" S	36° 09' 13" O	649	20 - 31,4 °C	309,3	167,1	476,4
3 Teixeira	Serra do Teixeira	7° 13' 22" S	37° 15' 15" O	768	18,6 - 30,6 °C	504,0	390,6	894,6
4 Bonito de Santa Fé	Cajazeiras	7° 18'45" S	38° 28'32" O	571	19,6 - 32,2 °C	307,4	388	695,4
5 Itaporanga	Itaporanga	7° 20'4" S	38° 7'36" O	290	21,2 - 33 °C	375	340,4	717,4
6 São João do Cariri	Cariri Oriental	7° 23'27" S	36° 32'2" O	458	20 - 31,4 °C	182	307	489
7 Zabelê	Cariri Ocidental	8° 4'13" S	37° 5'1" O	649	18 - 30,6 °C	182	263,3	445,3
8 Boa Vista	Campina Grande	7° 17'29" S	36° 07'16" O	450	20 - 31,4 °C	213,2	111,9	324,9
9 Catingueira	Piancó	7° 7' 33" S	37° 36' 32" O	287	19,2 - 29,8 °C	392	152,3	544,3
10 Diamante	Itaporanga	7° 21'48" S	38° 24'34" O	189	21,2 - 33 °C	375,0	324,5	699,5
11 Junco do Seridó	Seridó Ocidental	6° 59'54" S	36° 43'3" O	590	20 - 31,4 °C	225,3	195,2	420,5
12 Princesa Isabel	Serra do Teixeira	7° 43'56" S	37° 59'1" O	675	19,2 - 31,4 °C	447,5	300,8	748,3
13 Santa Inês	Itaporanga	7° 36'31" S	38° 32'33" O	451	19,6 - 32,2 °C	335,2	326,6	661,8
14 São Domingos do Cariri	Cariri Oriental	7° 37'14" S	36° 26'21" O	417	20 - 31,4 °C	250,6	176,9	427,5
15 Soledade	Curimataú Ocidental	7° 3'26" S	36° 21'46" O	521	20 - 31,4 °C	149,5	122,1	271,6
16 Taperoá	Cariri Ocidental	7° 14'17" S	36° 53'26" O	533	20 - 31,4 °C	210,8	158,2	369

Precipitação: Dados constantes na base de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA.

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos solos das 16 áreas experimentais.

Campo experimental	pH	COT	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H+Al ⁺³	Argila - areia	CTC
	água	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹			mg kg		
1 Boqueirão	7,0	1,37	7,52	0,18	0,07	13,77	1,79	1,47	136 - 648	160
2 Cuité	6,5	1,74	4,92	0,26	0,07	6,70	0,08	1,67	165 - 612	242
3 Teixeira	7,3	1,00	9,18	1,64	0,03	4,40	0,70	0,72	183 - 622	186
4 Bonito de Santa Fé	6,6	20,62	4,45	238	0,06	7,65	2,51	2,45	246 - 550	210
5 Itaporanga	6,0	10,70	12,91	140	0,14	6,00	1,28	1,13	217 - 501	152
6 São João do Cariri	7,0	2,57	27,25	66,30	0,04	4,57	0,23	0,66	242 - 541	162
7 Zabelê	6,7	9,00	10,93	176	0,05	5,70	0,43	1,45	166 - 630	168
8 Boa Vista	6,2	8,14	5,52	39,00	0,07	6,06	2,78	2,52	225 - 564	210
9 Catingueira	7,4	0,31	20,54	0,80	0,64	7,49	0,66	0,89	211 - 528	192
10 Diamante	6,2	17,70	5,85	144	0,05	7,60	1,70	0,70	245 - 540	205
11 Junco do Seridó	5,8	3,82	8,55	35,10	0,04	1,25	1,05	1,13	207 - 607	258
12 Princesa Isabel	6,5	6,59	6,50	101	0,07	5,03	1,10	1,83	174 - 609	163
13 Santa Inês	7,5	4,90	23,24	39	0,07	8,99	3,20	1,38	203 - 575	176
14 São Domingos do Cariri	7,4	8,40	37,40	172	0,07	6,97	3,53	1,39	168 - 640	168
15 Soledade	7,1	4,97	18,20	89,70	0,38	6,31	0,84	0,27	145 - 643	194
16 Taperoá	7,8	7,44	30,90	176	0,05	3,40	1,38	0,72	206 - 613	223

pH: água (1:2,5); P e K: Mehlich-1; Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺: KCl 1 mol/L; H⁺+Al³⁺, Al³⁺: Acetato de Ca 0,5 mol/L⁻¹ pH 7,0
 Areia e CTC. Disponível em: <<https://soilgrids.org/>> .

Fonte: elaborada pela autora.

Material vegetal

Foram utilizados cladódios sementes de três genótipos de palma forrageira resistentes a Cochonilha-do-Carmim (*Dactylopius Opuntiae*) são eles, palma Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dick) e Baiana (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dick.).

Variáveis e análise estatística

Os dados foram coletados aos 12 e 24 meses após o plantio. Foram avaliados o número de cladódios por planta (NCP), obtido através da contagem dos cladódios brotados, peso de massa verde por planta (PMV) somatório do peso de todos os cladódios por planta em grama, peso médio do cladódio (PMC), obtido pela divisão de PMV por NCP, em grama e PMS (peso de massa seca) obtido por meio de pré-secagem em ambiente aberto, seguida de secagem em estufa a 65°C até peso constante, que foi calculada multiplicando-se PMV pelos teores de peso de massa seca e divididos por 100 (RODRIGUES, 2010).

Foi realizada a análise de variância univariada conjunta para o fator ambiente (combinação de local e ano), de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + E_j + G_i + Bk(j) + GE_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

- Y_{ijk} , é a observação no k-ésimo bloco, avaliada no i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente;
- μ , é a média geral dos experimentos
- E_j , é o efeito do j-ésimo ambiente considerado como fixo;
- G_i , é o efeito do i-ésimo genótipo considerado como fixo;
- $Bk(j)$, é o efeito do bloco k dentro do ambiente j;
- GE_{ij} , é o efeito da interação entre o ambiente j e genótipo i; e
- e_{ijk} , é o erro aleatório associado a observação Y_{ijk} .

As médias de genótipos foram comparadas por ambiente, com o teste de LSD ao nível de significância de 5% de probabilidade. Essas análises foram realizadas no software R versão 3.5.3 (R Core Team, 2019). Posterior a essa etapa, a interação genótipo x ambiente foi analisada pelo método GGE biplot, a seguir:

$$Y_{ij} - y_j = \lambda_1 \alpha_i \beta_j + \lambda_2 \alpha_i \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Em que:

- Y_{ij} , representa a média do genótipo i no ambiente j ;
- y_j , é a média geral dos genótipos no ambiente j ;
- λ_1 e λ_2 , são os valores singulares do primeiro e segundo componente principal, respectivamente;
- α_{i1} e α_{i2} , são os dois primeiros autovetores para o i -ésimo genótipo;
- β_{j1} e β_{j2} , são os dois primeiros autovetores para o j -ésimo ambiente e
- ϵ_{ij} , é o erro associado ao modelo bidimensional, ou seja, a porcentagem dos efeitos $G + G \times A$ não explicada pelos dois primeiros componentes principais.

As análises de GGE biplot foram feitas no software R, com o pacote metan (OLIVOTO e LÚCIO, 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância conjunta, verificou-se que existem efeitos significativos ($p < 0,05$) de ambientes (locais e anos) e genótipos (Tabela 3). A significância da interação $G \times A$ indica que os genótipos têm comportamentos diferentes nos ambientes e anos. Assim, é necessário que se faça um estudo mais aprofundado sobre o comportamento dos genótipos, devido a sua sensibilidade às interações genéticas \times ambientais, procurando alternativas para atenuar tal efeito (RUBILAR et al., 2019).

Tabela 3 – Análise de variância conjunta para as características número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódio e peso de massa seca por planta, de três genótipos de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda), avaliadas em 16 municípios do semiárido paraibano, por dois anos de cultivo.

FV	GL	Quadrados médios			
		NCP	PMV	PMC	PMS
Ambiente	31	7366*	553870545*	1355526*	1050427 *
Genótipo	2	48740*	147169076*	48850835*	246682 *
Bloco/Ambiente	96	218*	23075028*	47892*	28588*
Ambiente x Genótipo	62	1134*	20622982*	223009*	28069*
Resíduo	192	27	2399218	7961	18486
Total	383				
CV (%)	-	44.91%	53.28%	28.62%	16.81%

NCP = número de cladódios por planta; PMV = peso de massa verde por planta; PMC = peso médio de cladódio; PMS = peso de massa seca por planta. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Estudos dessa cultura são de extrema importância, pois o semiárido brasileiro tem uma grande extensão territorial, com diferentes características climáticas que afetam diretamente as características agrônômicas dos genótipos (EDVAN et al., 2020). Na Tabela 4 são apresentadas as médias das características número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódio e peso de massa seca por planta.

Tabela 4 – Médias do número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta (g), peso médio de cladódio (g) e peso de massa seca por planta (g) de três genótipos de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda) avaliadas em dezesseis municípios do semiárido paraibano, por dois anos de cultivo.

Municípios e genótipos	Ano I				Ano II			
	NCP	PMV	PMC	PMS	NCP	PMV	PMC	PMS
1 BOQ								
Oem	5.20b	1728.66a	357.37a	107.18a	6.98c	2305.85a	339.98a	450.89a
Bai	5.27b	1504.38ab	272.55b	95.83a	11.01b	2357.29a	231.67b	429.73a
Miu	8.51a	1073.20b	128.89c	64.82a	22.45a	2398.98a	106.90c	516.74a
2 CUI								
Oem	3.00c	1015.13a	177.39a	107.40a	6.91b	1247.93a	254.67a	248.80a
Bai	5.22b	888.46a	142.39b	83.25a	7.45b	1460.49a	198.32b	312.80ab
Miu	7.68a	701.67a	80.97c	62.31a	10.94a	973.56a	91.56c	197.15b
3 TEI								
Oem	10,51c	4957.03a	452.31a	306.84a	12.38c	7018.21a	543.30a	1560.854b
Bai	15.28b	4805.88ab	302.12b	290.76a	16.89b	5991.87b	374.61b	1315.81b
Miu	31.31a	4293.16b	115.18c	215.52a	41.43a	7001.34a	170.86c	1428.87a
4 BSF								
Oem	5.91b	2089.69a	355.95a	142.10a	9.20c	6491.80b	647.32a	608.93a
Bai	6.78b	1896.56ab	248.89b	126.12a	13.58b	7419.37a	388.92b	587.61a
Miu	9.59a	1445.81b	123.12c	101.64a	33.72a	6114.60c	139.87c	664.05a
5 ITA								
Oem	4.72b	2208.35a	479.45a	187.71a	11.40b	6946.46b	651.87a	933.60ab
Bai	7.67a	2212.35a	286.49b	153.98a	29.82a	7528.07a	389.75b	870.25a
Miu	8.39a	1226.88b	124.63c	93.24a	30.41a	6422.21b	233.96c	749.47b
6 SJC								
Oem	6.72ab	2209.99a	328.19a	188.07a	8.14b	4709.87a	538.88a	401.75a
Bai	5.06b	1209.68b	238.81b	93.15a	8.62b	3799.20b	412.85b	295.96a
Miu	8.77a	1046b	117.10c	85.67a	14.60a	2851.68c	184.28c	255.23a
7 ZAB								
Oem	6.38b	3958.08a	615.79a	303.98a	7.89b	5901.84a	740.42a	716.48a
Bai	5.90b	2194.49b	355.17b	180.61a	7.52b	3243.49b	444.79b	353.86b
Miu	13.46a	2045.29b	129.70c	171.80a	23.83a	3678.31b	156.62c	506.87b
8 BOV								
Oem	3.70b	1279.69a	350.52a	85.74a	3.96b	1914.02a	455.92	186.62a
Bai	3.60b	517.31b	146.82b	41.33a	5.34b	1159.32b	200.09b	101.79a
Miu	6.91a	527.31b	75.11c	43.56a	13.49a	1666.98ab	119.96c	145.69a
9 CAT								
Oem	3.21b	2073.55a	525.42a	227.26a	4.48c	2368.12a	683.43a	470.11a
Bai	4.16b	1270.91b	255.76b	150.22a	7.74b	1788.15ab	310.10b	371.76a
Miu	7.08a	898.49b	84.43c	99.55a	19.61a	1542.37b	121.76c	349.96a
10 DIA								
Oe	2.47b	1545.82a	633.57a	151.18a	3.33c	2580.33ab	877.10a	358.67a

Bai	3.00b	789.09b	316.91b	63.84a	5.45b	2288.90b	460.46b	292.06a
Miu	5.70a	1310.86ab	161.61c	114.44a	12.80a	3054.98a	242.45c	407.53a
11 JUS								
Oem	2.39b	1504.80a	412.06a	124.60a	3.92c	2757.42a	671.71a	321.24a
Bai	3.98ab	1103.15a	255.07b	83.60a	6.41b	2631.88a	397.79b	280.03a
Miu	5.90a	982.21a	118.13c	90.76a	14.15a	3172.86a	243.17c	415.01a
12 PRI								
Oem	4.39b	2444.68a	492.79a	231.27a	8.41c	5118.14b	562.88a	760.04a
Bai	5.55b	2102.03a	331.35b	149.24a	13.63b	4660.28b	350.18b	475.81b
Miu	12.49a	2629.99a	186.95c	190.41a	33.85a	6900.94a	205.15c	717.70a
13 SAI								
Oem	6.26b	2353.69a	384.89a	287.62a	8.34b	5019.76a	594.97a	682.69a
Bai	5.35b	1497.70b	277.79b	158.46a	9.63b	2704.23b	323.25b	306.66b
Miu	15.26a	1515.98b	130.35c	202.23a	27.57a	5240.19a	191.33c	738.87a
14 SDC								
Oem	7.01b	3734.39a	523.90a	234.89a	7.54c	4039.45a	529.79a	698.82a
Bai	7.52b	2415.17b	315.01b	150.22a	12.07b	3662.99a	339.35b	553.11a
Miu	14.66a	2239.76b	143.91c	142.90a	25.64a	3663.99a	145.79c	664.65a
15 SOL								
Oem	3.00c	1252.86a	426.24a	128.04a	3.83c	1395.19a	339.69a	258.95a
Bai	5.22b	1215.26a	177.53b	110.59a	6.23b	1142.14a	227.11b	242.93a
Miu	7.68a	962.57a	82.82c	83.45a	13.15a	1193.58a	95.01c	260.80a
16 TAP								
Oem	5.09b	2610.51a	512.95a	193.18a	12.82c	7722.79a	602.45a	1021.7a
Bai	3.5b	1956.12b	326.67b	141.23a	17.54b	6645.27b	398.48b	728.15b
Miu	9.36a	1577.25b	152.81c	105.04a	30.11a	5109.64c	169.52c	727.10b

NCP = número de cladódios por planta; PMV = peso de massa verde por planta; PMC = peso médio de cladódio; PMS = peso de massa seca por planta. *Letras indicam os resultados de comparações entre genótipos para em cada ambiente e ano, pelo teste LSD a 5% de erro.

De acordo com a Tabela 1, a precipitação nos dezesseis ambientes variou em 2013/2014 de 82,4 a 504 mm ano⁻¹ e de 2014/2015 de 111,9 a 390,6 mm ano⁻¹. Na característica número de cladódios por planta, verificou-se que o melhor desempenho foi no ambiente 3 (Teixeira) para o genótipo Miúda, com média de 31,33 e 41,43 cladódios por planta, seguidos pelo ambiente 12 (Princesa Isabel), com 12,40 e 33,85, para o ano I e ano II, respectivamente (Tabela 4). Em campo, é possível observar que este genótipo apresenta um hábito de crescimento mais aberto, possibilitando a emergência de novos cladódios, não só no ápice do cladódio “mãe”, mas também nas suas bordas laterais, devido ao número de aréolas mais expostas, que são estruturas semelhantes as gemas axilares.

O genótipo Baiana têm um número de cladódios por planta que fica entre os valores dos genótipos Orelha de Elefante Mexicana e Miúda, principalmente no ano II. Já o genótipo Orelha de Elefante Mexicana tem o menor número de cladódios. A depender do genótipo, para SILVA et al., (2010), essas diferenças podem estar relacionadas ao hábito de crescimento, ereto e semiaberto, que favorece a emissão da maioria dos cladódios no ápice do cladódio “mãe”, dificultando a emissão de cladódios laterais.

O hábito de crescimento somado a uma boa disponibilidade de água, luz e nutrientes, resulta em uma maior emissão de cladódios (PEREIRA et al., 2020). Geralmente, as plantas do gênero *Nopalea* requerem maior precipitação ($> 600 \text{ mm ano}^{-1}$) do que as *Opuntias* ($> 400 \text{ mm ano}^{-1}$) (FARIAS et al., 2005). Nos ambientes 3 e 12, o volume acumulado de chuvas acima de 750 mm (Tabela 1). Essa condição ambiental pode ter favorecido a responsividade do genótipo Miúda para emissão de novos cladódios.

Para a característica peso de massa verde por planta, no ambiente 3 (Teixeira) ano I, foi acumulada a maior média para o genótipo Orelha de Elefante Mexicana. No ambiente 16 (Taperoá), ano II, o maior acúmulo também foi para este genótipo, com 7722,79 g por planta. Esse ganho pode ser estar associado aos teores de fósforo e potássio no solo neste ambiente, inclusive, dentre os ambientes avaliados, estes teores foram maiores (Tabela 2). A palma forrageira é uma cultura que apresenta alta capacidade produtiva e por isso retira elevadas quantidades de nutrientes do solo (SILVA, 2017). Considerando uma densidade de 20.000 plantas, em dois anos, a produção de massa verde pode representar $154,4 \text{ t ha}^{-1}$ no ambiente 16, mesmo considerando 369 mm de chuvas, o que representa o terceiro menor volume (Tabela 1). No ambiente 7 (Zabelê) também é possível observar altas médias para esta característica, 3958,08 g e 5901,84 g nos anos I e II, respectivamente. O genótipo Orelha de Elefante Mexicana pode ser considerado uma caixa d'água em regiões de escassez hídrica, pois apenas 90% do cladódio é composto de água. Além disso, fica evidente que em condições de sequeiro e com baixos volumes de chuva, ele consegue superar com facilidade o aporte forrageiro.

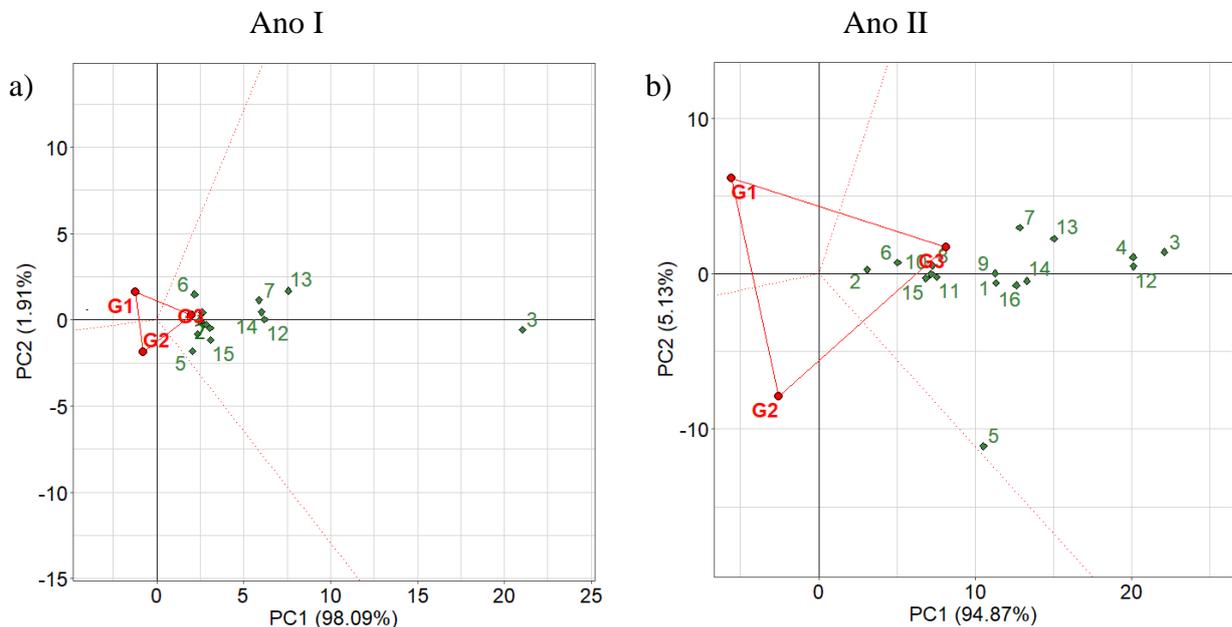
Para a característica peso médio de cladódio, as maiores médias foram no ambiente 10 (Diamante) para o genótipo Orelha de Elefante Mexicana, com 633,57 g e 877,10 g no ano II, seguido do ambiente 7 (Zabelê) com 615,97 g e 740,42 g. Em todos os ambientes, este genótipo apresenta cladódios mais pesados. Por outro lado, os menores valores são para o genótipo Miúda. O genótipo Baiana tem valores médios entre os genótipos Orelha de Elefante Mexicana e Miúda. Resultados semelhantes foram encontrados por LIMA et al., (2018), nos genótipos Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda, a média foi de 413 g, 290 g e 188 g, ordenando da seguinte maneira: Orelha de Elefante Mexicana $>$ Baiana $>$ Miúda. Na característica peso de massa seca por planta, os maiores valores foram no ambiente 3 (Teixeira) com 306,84 no ano I e 1560,85 g no ano II e no ambiente 7 (Zabelê) com 303,98 g e 740,42 g nos anos I e II respectivamente.

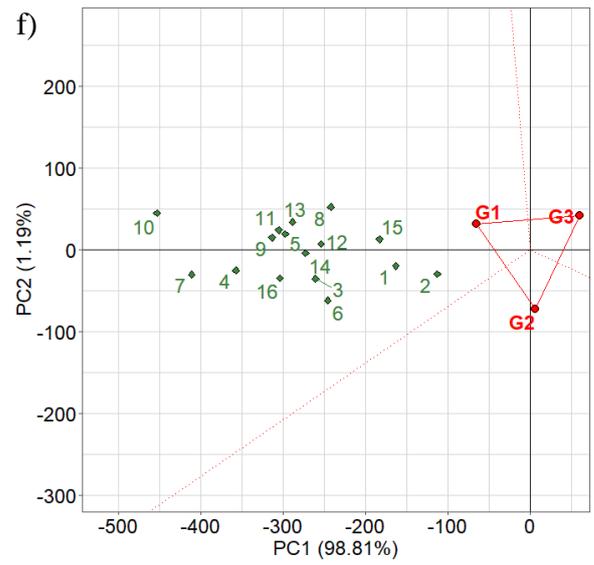
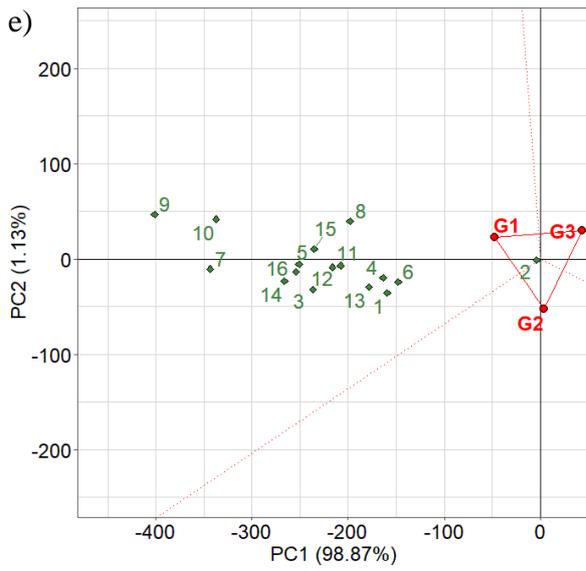
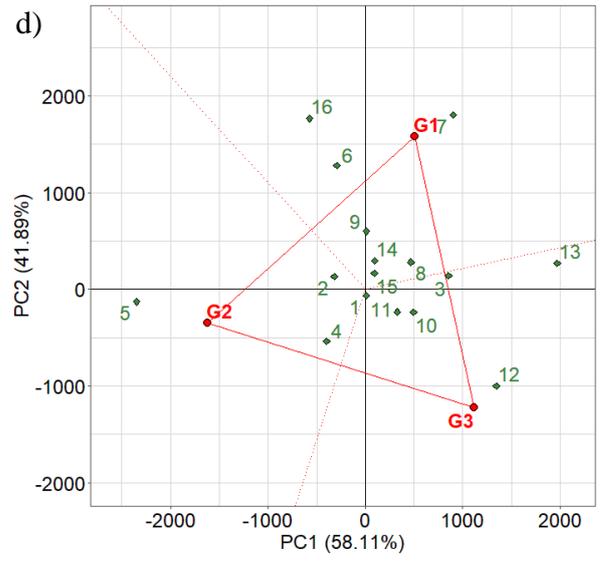
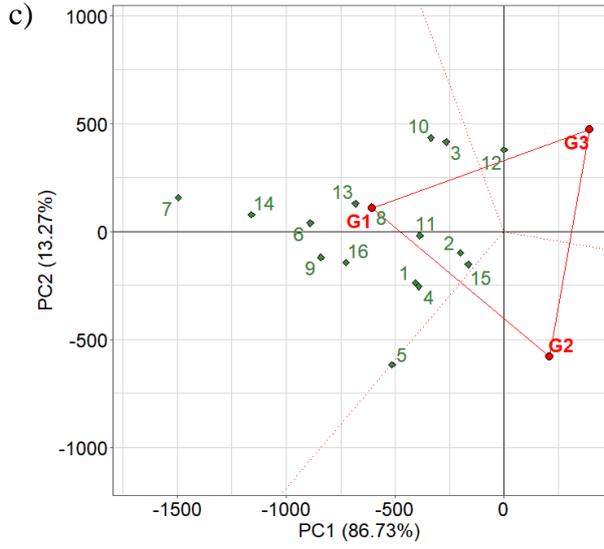
Comparando as diferentes respostas produtivas de *Opuntia* em relação a *Nopalea*, RAMÍREZ TOBIAS et al., (2010) atribuíram resultados semelhantes ao maior tamanho dos

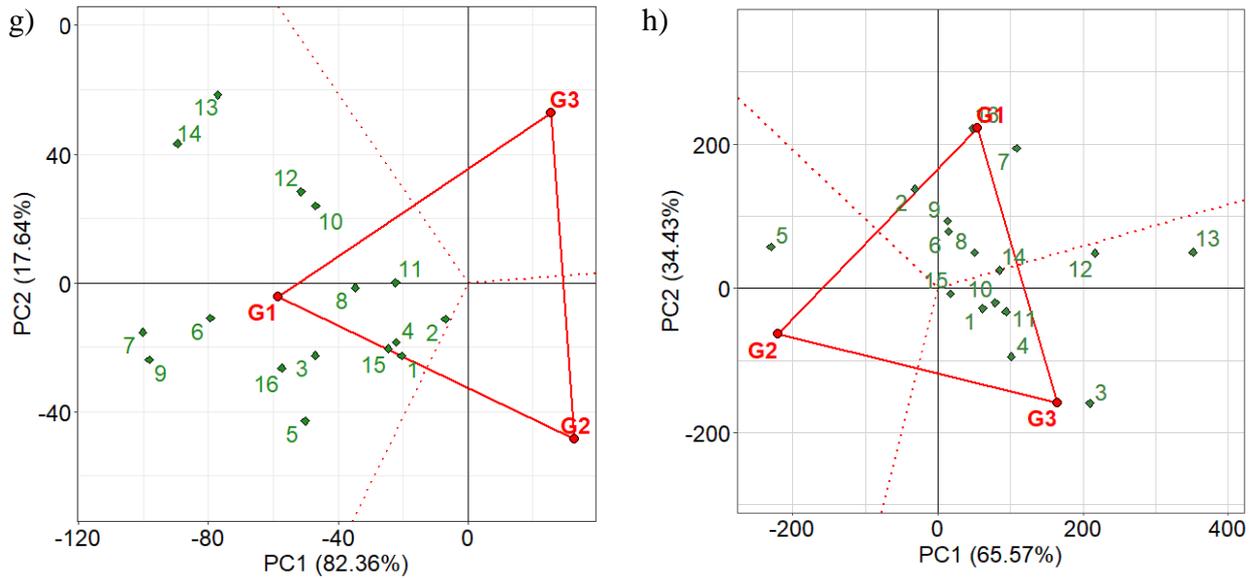
cladódios de *Opuntia*, ou seja, maior capacidade de acúmulo de massa verde. A área do cladódio determina a interceptação de radiação solar pela planta, pois quanto maior for a área, maior será a capacidade de absorção de luz e produção de fotoassimilados (DONATO et al., 2014).

Para auxiliar no estudo da interação, a análise gráfica GGE biplot mostra o padrão de “quem ganhou onde” de um genótipo por um conjunto de dados de ambiente. Este gráfico consiste em um polígono com linhas perpendiculares, chamadas de linhas de igualdade, desenhadas (linhas vermelhas pontilhadas). Essas linhas dividem o polígono em vários setores. Genótipos localizados nos vértices do polígono são os de melhor desempenho em um ou mais ambientes dentro de um determinado setor (KRISHNAMURTHY, et al., 2017). Nas análises gráficas de GGE biplot é possível observar a consistência ou não dos genótipos nos ambientes (Figura 1), nos anos I e II, para cada variável.

Figura 1 – GGE Biplot “which won where” nos dois anos para as características, número de cladódios por planta (a, b); peso de massa verde por planta (c, d); peso médio de cladódio (e, f) e peso de massa seca por planta (g, h), dos genótipos, (G1) Orelha de Elefante Mexicana, (G2) Baiana e (G3) Miúda, em 16 ambientes do semiárido paraibano.







1 = Boqueirão; 2 = Cuité; 3 = Teixeira; 4 = Bonito de Santa Fé; 5 = Itaporanga; 6 = São João do Cariri; 7 = Zabelê; 8 = Boa Vista; 9 = Catingueira; 10 = Diamante; 11 = Junco do Seridó; 12 = Princesa Isabel; 13 = Santa Inês; 14 = São Domingos do Cariri; 15 = Soledade; 16 = Taperoá

É importante ressaltar que, a formação dos gráficos para mega-ambiente não está relacionada à média geral, mas sim, à média do mega-ambiente (YAN; TINKER, 2006). Desse modo, cada genótipo é comparado dentro do seu mega-ambiente. Na Análise de Componentes Principais (ACP), os valores são condensados em dois Componentes Principais (PC1 e PC2) que respondem por 100,00% da variância total acumulada no experimento. O setor, formado pelo mesmo genótipo e ambiente, repetido nos dois anos avaliados, é considerado mega-ambiente. Outro aspecto importante a ser observado nesse tipo de gráfico é que, só se considerada mega-ambiente quando existem dois ou mais ambientes no mesmo setor.

Percebe-se que a interação GxA assume importância no desempenho das plantas nos vários ambientes, com volumes de chuva e composição química e física dos solos diferentes, podendo indicar a existência de genótipos especificamente adaptados a determinadas condições ambientais.

Para as características número de cladódios por planta e peso médio de cladódio, (Figuras 1a, 1b, 1e e 1f), CP1 explica 94% da variância total nestas características, para os dois anos avaliados. Para a característica número de cladódios por planta, o genótipo Miúda teve melhor desempenho, ou seja, foi o ganhador em todos os ambientes, formando um mega-ambiente (Figura 1a e 1b). O maior destaque foi o ambiente 3 (Teixeira), inclusive foi dos

ambientes que mais choveu nos dois anos (894,6 mm). Esse genótipo é mais exigente em água e por isso, a maior capacidade de brotação de cladódios pode ser potencializada.

Também formando um mega-ambiente para característica peso médio de cladódio (Figura 1e e 1f) destaque dos ambientes 7 e 10, em ambos os anos. São eles, Zabelê e Diamante, respectivamente, onde ele teve melhor rendimento. O genótipo vencedor no mega-ambiente foi Orelha de Elefante Mexicana. A relevância de se estudar os cladódios está no fato que essa é uma das variáveis utilizadas para medir o crescimento vegetativo em palma forrageira, pois é onde está localizado o aparelho fotossintético (RAMOS, 2011), além de ser uma estrutura de armazenamento de água, que influenciará diretamente nos teores de massa verde dessas plantas (BARRIOS et al., 2007).

Na característica peso de massa verde por planta (Figuras 1c e 1d) houve a formação de de um mega-ambiente e o genótipo vencedor foi o Orelha de Elefante Mexicana. Este mega-ambiente foi formado por sete ambientes, são eles, 6, 7, 8, 9, 14, 15 e 16 (São João do Cariri, Zabelê, Boa Vista, Catingueira, São Domingos do Cariri, Soledade e Taperoá). É possível observar que existem diferenças ambientais mesmo dentro de uma Microrregião, nesse caso, Cariri Ocidental, nos ambientes de Zabelê e Taperoá. O acúmulo de chuvas nos dois anos foi de 445,3 mm e 369 mm, respectivamente e características químicas e físicas do solo semelhantes, por exemplo, teores de potássio de $176 \text{ cmolc kg}^{-1}$ e temperatura mínima de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e máxima de $30,6 \text{ }^\circ\text{C}$ e $31,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Em Zabelê, com chuvas médias anuais de 222,65 mm e temperaturas mínima e máxima de $18\text{-}30,6 \text{ }^\circ\text{C}$, o genótipo Orelha de Elefante Mexicana se destaca e demonstra superioridade, com quase 2000g a mais de massa verde no segundo ano (Tabelas 2 e 4).

Considerando uma densidade de 20.000 plantas por hectare, isso significa um aumento de quase 40 toneladas a mais de massa verde, mesmo em um ambiente com um volume de chuvas anuais inferior a outros da mesma Microrregião. O genótipo Miúda apesar de não estar em nenhum mega-ambiente para as características de produção, destaca-se principalmente no ambiente 12 (Princesa Isabel), com quase 400 mm a mais de chuvas acumuladas que no município de Taperoá, por exemplo, indicando que esse genótipo é mais exigente em água. O cultivo do genótipo Miúda no ambiente 12 pode ser mais favorável que os demais, sendo possível inferir que neste ambiente, ele tem adaptação específica.

O ambiente 5 (Itaporanga), caracterizado principalmente pelo cúmulo de chuva nos dois anos de 717,4mm, teor de potássio no solo de $140 \text{ cmolc kg}^{-1}$ e temperatura mínima de $21,2 \text{ }^\circ\text{C}$ e máxima de $33 \text{ }^\circ\text{C}$, ficou setorizado entre os genótipos Orelha de Elefante Mexicana e Baiana,

no ano I, sendo necessário observar como esse genótipo se comportou em relação aos ambientes, no ano II (Figuras 1b e 1c). Na Tabela 4 também é possível observar que o genótipo Orelha de Elefante Mexicana não diferiu estatisticamente do genótipo Baiana no ambiente 5. No ano II, o biplot o posicionou no setor do genótipo Baiana, que aí sim, diferiram estatisticamente. Assim, comparando a tabela de médias com a metodologia de GGE biplot, é possível observar o motivo pelo qual este ambiente foi posicionado em cima da linha perpendicular, entre os genótipos G1 e G2 (Orelha de Elefante Mexicana e Miúda).

Para peso médio de cladódio, destaca-se a formação de apenas um setor, com melhor desempenho para o genótipo Orelha de Elefante Mexicana. Esse resultado pode estar associado ao fato de que esse genótipo tem uma área de cladódio maior, quando comparado aos demais genótipos, do subgênero *Nopalea*. Isso lhes confere uma maior capacidade de acúmulo de água na estrutura do cladódio. O genótipo Orelha de Elefante Mexicana é menos exigente em água e ainda assim é extremamente eficiente no uso dela, principalmente por deter elevada produção de massa verde, podendo representar 40% a mais de massa verde que o genótipo Baiana.

SILVA et al., (2019), estudando sobre genótipos de palma forrageira, identificou que diversas características quantitativas estão correlacionadas com a poliploidia. Em seu trabalho, foi possível averiguar que os genótipos Miúda e Baiana são diplóides, enquanto que o genótipo Orelha de Elefante Mexicana é tetraplóide. Quanto ao número de cladódios, houve uma forte correlação negativa em relação ao nível de ploidia. O diplóide foi superior ao tetraplóide, para essa característica. Essa pode ser uma consequência direta do processo de divisão celular. Era de se esperar que, ocorresse um aumento, não apenas no tamanho celular, mas também, na taxa de crescimento de alguns órgãos, direcionado pela poliploidização (COHEN; TEL-ZUR, 2012), no genótipo Orelha de Elefante Mexicana.

Apesar dos poliplóides geralmente apresentarem órgãos maiores (efeito gigas), é possível observar que para algumas espécies pode haver uma redução na taxa de crescimento (TE BEEST et al., 2012; YILDIZ, 2013) explicado, possivelmente, pelo fato de que durante o processo de replicação e organização dos cromossomos na mitose e meiose de poliplóides, pode existir uma demanda de tempo maior para a realização dos mesmos. (TATE et al., 2005), ou ainda, que quando ocorre uma mudança no número de cópias de certos genes, (consequência da poliploidia), algumas características fenotípicas podem ser transgressivas, visto que existe um fornecimento de matéria-prima para a evolução em outras novidades funcionais, e isso pode resultar em uma morfologia consideravelmente diferente (JIAO et al., 2011; GODFREE et al.,

2017), como o comprimento; largura e espessura dos cladódios. O genótipo Orelha de Elefante Mexicana produz mais massa verde, tem cladódios maiores, no entanto, em um número menor.

Uma das principais variáveis da palma forrageira também é a quantidade de massa seca, que representa o potencial nutritivo da planta (MOURELLE; EZCURRA, 1997). É uma característica que merece destaque quando se fala de forrageiras e que deve ser selecionada em programas de melhoramento da palma. O solo é um estoque de nutrientes, principalmente da fase sólida do solo (minerais e material orgânico). Contudo, as plantas não conseguem obter os nutrientes nesta fase, mas sim na solução do solo, em forma de íons (Ca^{2+} , K^+ , por exemplo). Neste trabalho, as quantidades de fósforo variaram de 4 a 30 mg kg^{-1} e de potássio entre 0,2 a 176 mg kg^{-1} (Tabela 2).

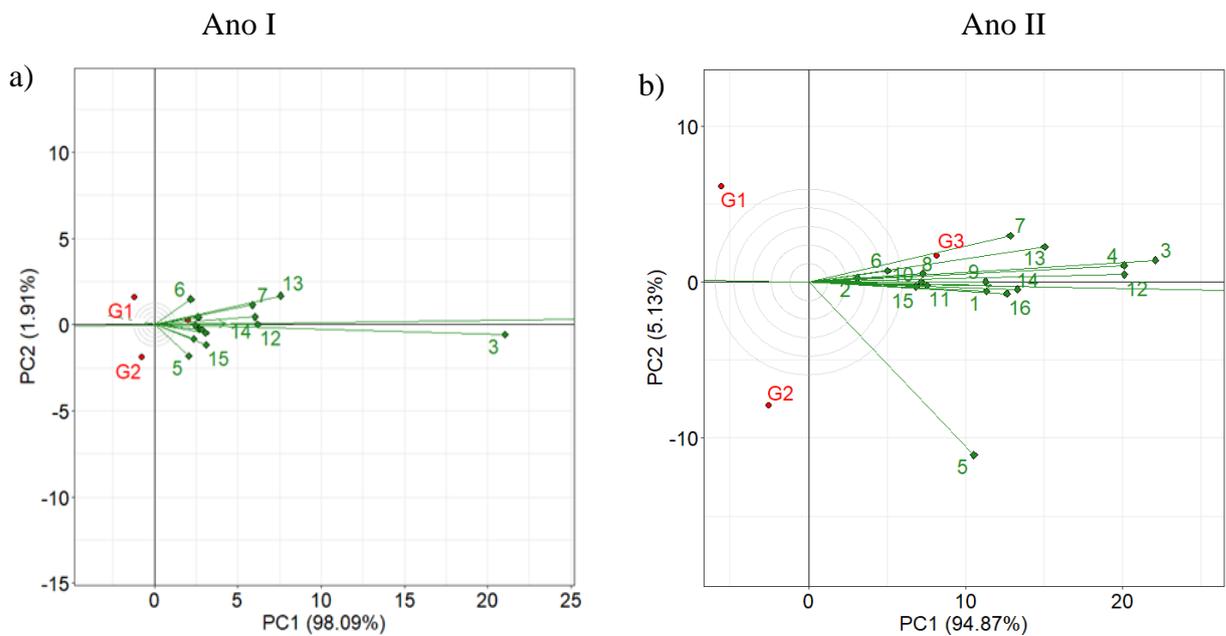
O mega-ambiente formado na característica de peso de massa seca por planta, houve a formação de um mega-ambiente, com sete dos dezesseis ambientes. São eles 2, 6, 7, 8, 9, 13 e 14 (Cuité, São João do Cariri, Zabelê, Boa Vista, Catingueira, Santa Inês e São Domingos do Cariri). O teor de fósforo variou de 4,92 mg kg^{-1} a 23,24 mg kg^{-1} e de potássio entre 0,26 mg kg^{-1} a 176 mg kg^{-1} . O maior foi no ambiente 7 (Zabelê) e como ganhador o genótipo Orelha de Elefante Mexicana, com maior rendimento neste mega-ambiente. Esse genótipo tem uma maior área fotossintética (maior cladódio), em relação aos genótipos Miúda e Baiana. Esse também é uma característica importante para o crescimento da planta, pois tem relação com sua capacidade fotossintética e capacidade de acumulação de biomassa (LIRA et al., 2021).

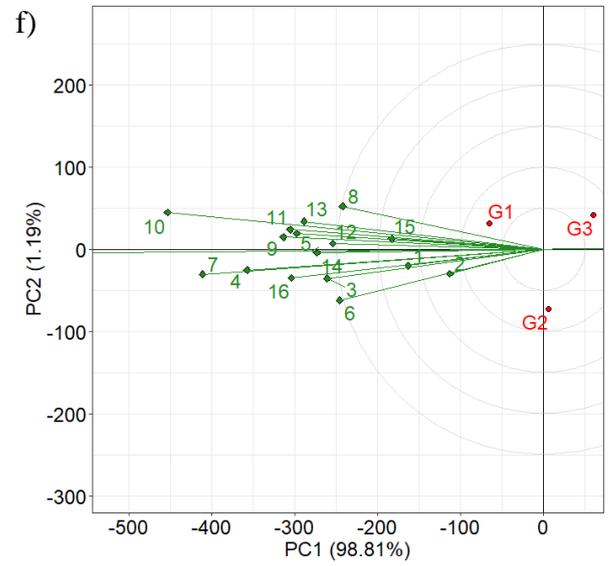
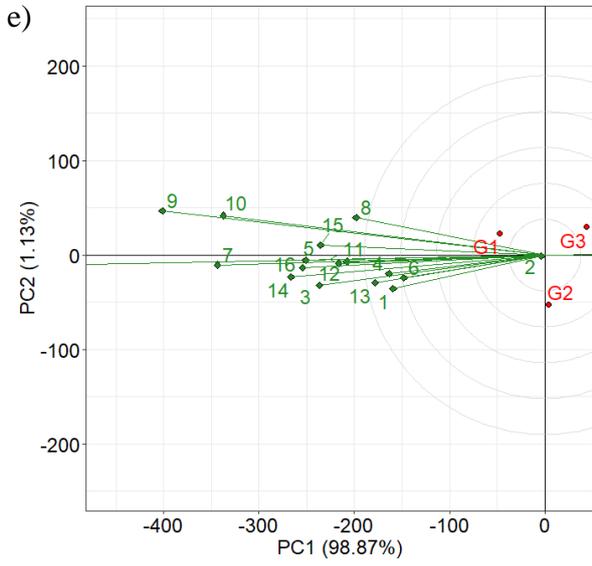
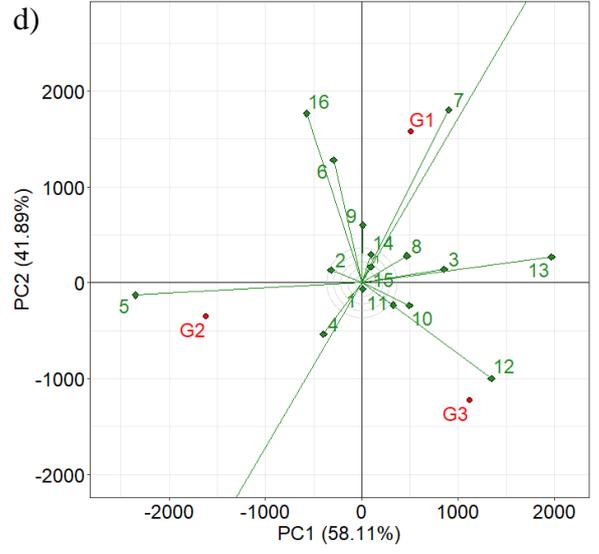
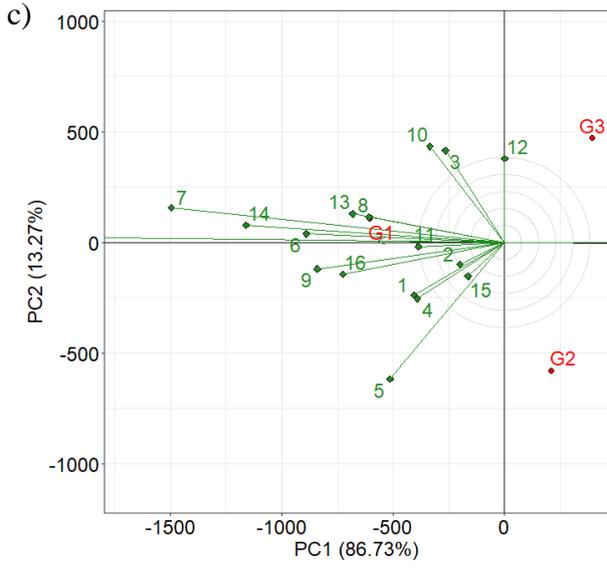
A quantidade de potássio encontrado nos cladódios chega a 4,35 g.kg^{-1} no genótipo Orelha de Elefante Mexicana e de 2,88 g.kg^{-1} no genótipo Miúda e de 1,83 g.kg^{-1} no genótipo Bainana (ALVES, 2015). O potássio pode contribuir com até 10% do peso seco de uma planta e encontra-se principalmente no citosol e vacúolos das células como íon livre, em altas concentrações. Sua função no organismo vegetal está relacionada principalmente ao ajuste osmótico e manutenção do potencial osmótico (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Essa característica fisiológica pode ser explicada pelas adaptações de ordem genética e morfológica encontradas por SILVA (2019) no genótipo Orelha de Elefante Mexicana.

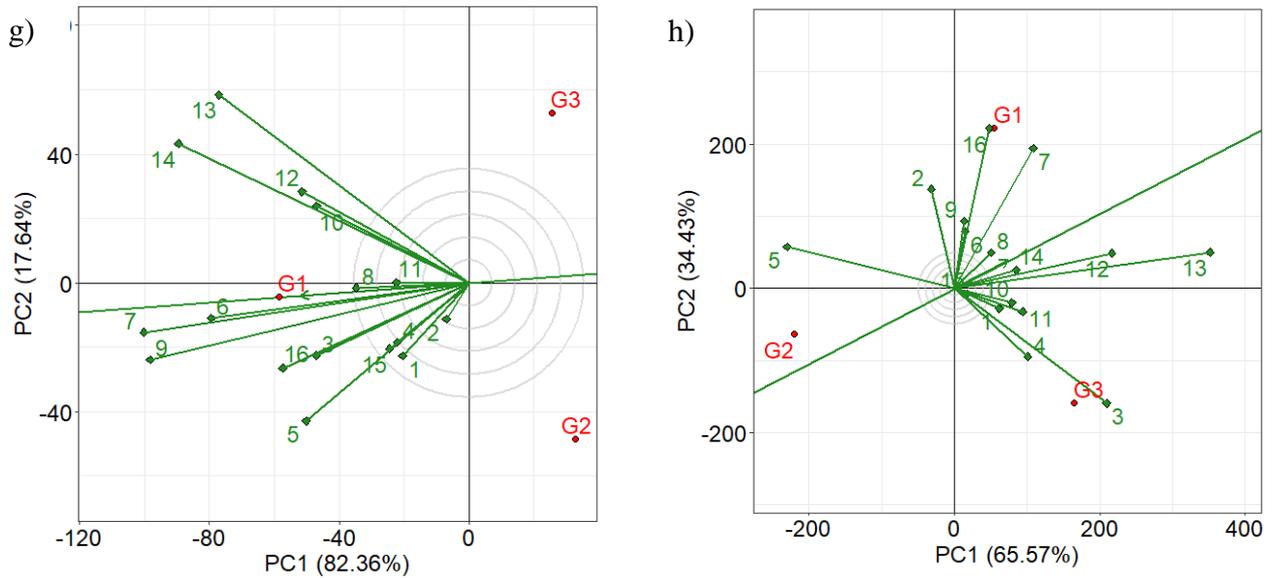
Em Boa Vista (volume de chuvas acumuladas de 324,9 mm), em média nos dois anos, o acúmulo de massa seca foi de aproximadamente 144,70 g e 398 g no ambiente de Catingueira (volume de chuvas acumuladas de 544,3 mm), para Orelha de Elefante Mexicana. Ou seja, a chuva é um fator extremamente importante para a dissolução de nutrientes do solo, tornando-se disponíveis para a absorção pelas raízes das plantas.

Nos gráficos de “Discriminação e Representatividade”, o objetivo é identificar ambientes que possam ser utilizados como ambientes-teste para selecionar genótipos superiores de forma eficaz e devem ser tanto discriminativos como representativos. Aqueles ambientes que possuem vetores mais longos, são mais discriminantes, enquanto aqueles que apresentam vetores longos são mais discriminantes (HONGYU et al., 2015). Os que são menos discriminantes, fornecem pouca ou nenhuma informação, podendo ser descartados (YAN et al., 2007). Já os ambientes mais representativos são aqueles que formam um menor ângulo entre o seu vetor e o eixo do ambiente-média (linha verde contínua), na Figura 2.

Figura 2 – GGE biplot de “Discriminação e Representatividade” nos dois anos para as características, número de cladódios por planta (a, b); peso de massa verde por planta (c, d); peso médio de cladódio (e, f) e peso de massa seca por planta (g, h), dos genótipos, (G1) Orelha de Elefante Mexicana, (G2) Baiana e (G3) Miúda, em 16 municípios do semiárido paraibano.







1 = Boqueirão; 2 = Cuité; 3 = Teixeira; 4 = Bonito de Santa Fé; 5 = Itaporanga; 6 = São João do Cariri; 7 = Zabelê; 8 = Boa Vista; 9 = Catingueira; 10 = Diamante; 11 = Junco do Seridó; 12 = Princesa Isabel; 13 = Santa Inês; 14 = São Domingos do Cariri; 15 = Soledade; 16 = Taperoá

Em resumo, bons ambientes-teste são aqueles discriminantes (vetores longos em relação a EAM) e representativos (vetores mais próximos em relação a EAM). Ambientes discriminantes, mas não representativos, ou vice-versa, podem ser utilizados para seleção de genótipos especificamente adaptados em mega-ambientes.

Em número de cladódios por planta (Figuras 1a e 1b), os ambientes mais discriminantes e representativos, nos dois anos são, os ambientes 3 > 12 > 14 (Teixeira, Princesa Isabel e São Domingos do Cariri). Em peso de massa verde por planta (Figuras 2c e 2d), são os ambientes 7 (Zabelê) e 14 (São Domingos do Cariri). Em peso médio de cladódio, (Figuras 2e e 2f) são os ambientes 7, 9 e 10 (Zabelê, Catingueira e Diamante). Os ambientes 5 e 12 (Itaporanga e Princesa Isabel) são ambientes com vetores longos e grandes ângulos (Figuras 2b, 2c e 2d), em relação a reta EAM (eixo do ambiente-média), sendo, portanto, locais altamente discriminativo, porém com pouca representatividade. O ambiente de Princesa Isabel é um local altamente discriminativo, porém com pouca representatividade, podendo ser usado para adaptação específica do genótipo Miúda.

Para peso de massa seca por planta (Figuras 2g e 2h), o ambiente mais discriminante e representativo, nos dois anos é o 7. A utilização da metodologia GGE biplot auxiliou na identificação dos mega-ambientes. Os ambientes mais discriminantes e representativos, principalmente para as características de produção foi Zabelê. Essas análises são importantes

principalmente para verificação dos ambientes mais apropriados, onde os genótipos conseguem expressar ao máximo suas características e reduzem os custos e o tempo nos programas de melhoramento genético dessa forrageira além de possibilitar o entendimento da interação GxA. De forma geral, o ambiente mais discriminante e representativo para todas as características de produção é o ambiente 7 (Zabelê), com altitude de 649 metros, volume de chuvas acumulado de 445,3 mm e temperatura mínima de 18 e máxima de 30,6 °C.

Avaliando os 16 ambientes, é possível perceber um padrão de comportamento desses genótipos, apesar das várias influências ambientais. O genótipo Miúda tem um maior número de cladódios. Já o maior acúmulo de massa, em geral, é no genótipo Orelha de Elefante Mexicana. O genótipo Baiana apresentou valores medianos para todas as características. Comparando esses três genótipos, NUNES et al., (2019) concluiu que as diferenças ambientais e morfológicas influenciam na capacidade produtiva da palma forrageira.

Trabalhos como esse geram não só conhecimento, mas também o fortalecimento das atividades agropecuárias na região do semiárido, principalmente paraibano. O genótipo Orelha de Elefante Mexicana de forma geral, foi resiliente as diferentes condições ambientais analisadas neste estudo, devendo ser utilizado na alimentação animal pela alta quantidade de massa e água nos cladódios. Esse fator é de extrema relevância nessas regiões. O sucesso adaptativo de Cactáceas poliplóides, como é o caso desse genótipo, em áreas áridas e semiáridas está registrado para espécies que ocorrem em condições de elevadas temperaturas anuais e forte estresse hídrico (PALOMINO et al., 2016). Para diversas espécies vegetais, os poliplóides apresentam estômatos maiores e em menor quantidade, resultando em baixas taxas de transpiração e perda reduzida da água (BAKER et al., 2017).

Para indicação do genótipo mais adaptado ao semiárido paraibano, seja para agricultores, seja para os futuros avanços nos programas de melhoramento genético da palma forrageira na Paraíba, a utilização da metodologia GGE biplot auxiliou na identificação dos mega-ambientes e dos ambientes mais discriminantes e representativos. Em caso contrário, a utilização de ambientes menos apropriados poderia resultar em aumento dos custos dos ensaios de seleção.

4 CONCLUSÕES

Houve a formação de um mega-ambiente para todas as características. Para as características de produção, o ambiente mais discriminante e representativo é Zabelê, caracterizado por apresentar uma média de chuvas anuais de 220 mm, altitude de 649 m, teores

de potássio no solo em torno de 170 cmolc kg¹, teores de carbono total 9 g.kg⁻¹ e temperatura mínima entre 18 °C e máxima de 30,6 °C. O genótipo promissor é o Orelha de Elefante Mexicana. O ambiente de Princesa Isabel é altamente discriminativo, porém com pouca representatividade, podendo ser usado para adaptação específica do genótipo Miúda.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. A. L. **Variabilidade genética, morfológica e fitoquímica de genótipos de *Opuntia* e *Nopalea***. 211F, 2015. Tese de doutorado em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba. UFPB, Areia, PB.
- AMORIN, P.L.; MARTUSCELLO, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.T.; CUNHA, D.N.F.V.; JANK, L.; Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Rev. Caatinga**, v.28, n.3, p.230–238, 2015.
- ARIAS, J.E. Importância de la tuna. **Cactusnet Newsletter**, v.13, p.9–12, .2013.
- BAKER, R. L.; YARKHUNOVA, U.; VIDAL, K.; EWERS, B. E.; WEINIG, C. Polyploidy and the/ h; relationship between leaf structure and function: implications for correlated evolution of anatomy, morphology, and physiology in *Brassica*. **BMC Plant Biology**, v.17, n.1, p.1-12, 2017.
- BARRIOS, P.F.; CRU, I.C.; HERNÁNDEZ, J.Z.; MORÁN, L.M. Effects of shade, drought and daughter cladodes on the CO₂ uptake by cladodes of *Opuntia ficus-indica*. In: **Ann.Appl.Biol.**, v.151, n.2, p.137–144, 2007.
- CÂNDIDO, M. J. D.; GOMES, G. M. F.; LOPES, M. N. et al. **Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas**. Fortaleza: Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE). Banco do Nordeste do Brasil. Informe Rural, v. 7, n. 3, 2013. 7 p
- CAVALCANTE, L. A. D.et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.4, p.424-433, 2014.
- COHEN, H.; TEL-ZUR, N. Morphological changes and self-incompatibility breakdown associated with autopolyploidization in *Hylocereus* species (Cactaceae). **Euphytica**, v. 184, n.3, p.345-354, 2012.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, UFV, 2014, v.1, 514p.
- CHRISTENHUSZ, M.; FAY, M.; CHASE, M.W. **Plants of the World: An Illustrated Encyclopedia of Vascular Plants**. University of Chicago Press, 2017, 816p.
- DE LUCA, A.I.; LOFRIDA, N.; LESKINEN, P.; STILLITANO, T.; FALCONE, G., STRANO,A.; GULISANO, G. Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. **Science of The Total Environment** ,v.595, p.352-370, 2017.

EDVAN, R.L.; MOTA, R.R.M.; SILVA, T.P.D.; NASCIMENTO, R.R.; SOUSA, S.V.; ARAÚJO, M.J.; ARAÚJO, J.S. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Report**, v.10, n.10040, 2020.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. 2. ed. Londrina, 2006. 401p.

FARIAS, I; SANTOS, D.C. dos; DUBEUX JÚNIOR., J.C.B. Estabelecimento e manejo do palmar. In: MENEZES R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. A palma do Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: **Editora Universitária da UFPE**, 2005. p. 81-88.

KRISHNAMURTHY, S.L., et al. Identification of megaenvironments and rice genotypes for general and specific adaptation to saline and alkaline stresses in India. **Scientific Reports**, v. 7, n. 7968, p.1-14, 2017.

GODFREE, R. C.; MARHALL, D. J.; YOUNG, A. G.; MILLER, C. H.; MATHEWS, S. Empirical evidence of fixed and homeostatic patterns of polyploid advantage in a keystone grass exposed to drought and heat stress. **Royal Society Open Science**, v. 4, n. 11, p. 1-12, 2017.

GUERRERO, P.C.; MAJURE, L.C.; CORNEJO-ROMERO, A.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, T. Phylogenetic relationships and evolutionary trends in the cactus family. **Journal of Heredity**, v. 110, n. 1, p. 4-21, 2018.

HONGYU, K. **Comparação do GGE biplot-ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo × ambiente**. 154f, 2015. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

JAT et al. AMMI and GGE biplot analysis of yield of different elite wheat line under terminal heat stress and irrigated environments. **Helyon**, v.7, n.6, 2021.

JIAO, Y. et al. Ancestral polyploidy in seed plants and angiosperms. **Nature**, v. 473, n. 7345, p. 97-102, 2011.

LIMA, W. DOS S.; PEREZ-MARIN, A. M.; LAMBAIS, G. R. Organic fertilizers on the development of varieties cactus forage. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.13, n.2, p.170 - 175, 2018.

LIRA, E.C.; ARAÚJO, J.S.; FÉLIX, E.S.; NASCIMENTO, G.V.; OLIVEIRA FILHO, T.J.; SOUZA, J.T.A.; PEREIRA, D.D. Produtividade de culturas anuais em sistema de consórcio com a palma forrageira resistente à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell). **Holos**, v.2, n.37, p.1-18, 2021.

MOURELLE, C.; EZCURRA, E. Differentiation diversity of Argentine cacti and its relationship to environmental factors. **Journal of Vegetation Science**, v.8, n.4, p.547–558. 1997.

NEVES, F.L.; SPÍNOLA, A.M.; CHAGAS, M.C.M.; NEVES, J.D.C.; KUSTER, I.S.; FIGUEIREDO, M.R.P.; OLIVEIRA, F.S.; OLIVEIRA, E.F.; PEREIRA, D.L. **Palma forrageira: Opção e potencialidades para alimentação animal e humana em propriedades rurais do Espírito Santos**. Incaper, 2020. 52p.

NEWING, J., E. CHALLIES, N.W. JAGER, E.; KOCHSAEMPER.; ADZERSEN, A.018. The environmental performance of participatory and collaborative governance: a framework of causal mechanisms. **Journal Policy Studies**, v.46, p.269-297, 2018.

NICANOR, A.B.; CASTRO, P.M.; ORTIZ, M.E.R.; GARCÍA, G.A.; CRUZ, L.G. Quality of the parenchymatous tissue of *Opuntia* and its use in the development of set yogurt. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v.24, p.1-19, 2021.

NUNES, J.S.L.; SILVA, T.G.F.; SOUZA, L.S.B.; JARDIM, A.M.R.F.; NUNES, H.K.M.; NETO, J.F.C.; LEITE, R.M.; PINHEIRO, A.G. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v.27, n.2, p.367-375, 2019.

OLIVEIRA, R.L. **Uso dos métodos ammi e gge biplot para análises de adaptabilidade**, Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, p.65, 2009.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D. Metan: an R package for multi-environment trial analysis. **Methods Ecol Evol**, v.11, p.783-789, 2020.

INGLESE, P.; MONDRAGON, C.; NEFZAOU, A.SAENZ, C.; TAGUCHI, M.; MAKKAR, H.; LOUHAICHI, M.. Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. Rome, Italy: **FAO**, p.155 – 166, 2017.

JENNIFER, A.T.; SOLITIS, D.E.; SOLTIS, P. **The evolution of the genome**, January 2005.

PALOMINO, G.; MARTÍNEZ, J.; MÉNDEZ, I.; MUÑOZ-URÍAS, A.; CEPEDA-CORNEJO, V.; PIMIENTA-BARRIOS, E. Nuclear genome size, ploidy level and endopolyploidy pattern in six species of *Opuntia* (Cactaceae). **Caryologia: Int. Jou. Cyt., Cytosys. and Cytog.**, v.69, n.1, p.82-89, 2016.

PEREIRA, J. D. S.; CAVALCANTE, A. B.; NOGUEIRA, G. H. M. D. S. M. F.; CAMPOS, F. S.; ARAÚJO, G. G. L. D., SIMÕES, W. L.; VOLTOLINI, T. V. Morphological and yield responses of spineless cactus Orelha de Elefante Mexicana under different cutting intensities. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 21, p. 1-10, 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019.

RAMALHO, F.O. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2012, 300p.

RAMOS, J.P.; LEITE, M.L.; OLIVEIRA JUNIOR, S. Crescimento Vegetativo De *Opuntia ficus-indica* Em Diferentes Espaçamentos De Plantio. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p.41-48, 2011.

RAMÍREZ-TOBIAS, H. M.; AGUIRRE-RIVERA, J. R.; PINOS-RODRIGUEZ, J. M. Productivity of *Opuntia* ssp. and *Nopalea* sp. (Cactacea) growing under greenhouse hydroponics system. **Journal of Food, Agricultura & Environment**, v.8, p 660-665, 2010.

ROCHA, S.S.; LONDE, L.C.N.; PIMENTA, S.; CARDOSO, M.M.; GONÇALVES, N.P.; GOMES, W.S.; CALAES, J.G. Congruence between morphological and molecular markers for genetic diversity analysis applied to forage palm genotypes propagated via bioreactors. **Industrial. Crops and Products**, v.147, p.1-17, 2020.

RUBILAR, R. et al., Climate and water availability impacts on early growth and growth efficiency of Eucalyptus genotypes: The importance of GxE interactions. **Forest Ecology and Management**, v.458, n.15, 20210.

SANTOS, D.C.; SILVA, M. C.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; LIRA, M.A.; SILVA, R.M. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: Novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v.15, n.2, p.111-121, 2013.

SHARIFI, P. et al. Evaluation of genotype× environment interaction in rice based on AMMI model. **Rice Science**, v.24, n.3, p.173-180, 2017.

SILVA, N. G. D. M., et al. Relationship between morphological characteristics and productivity of cactus forage clones. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.11, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, P. F. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 79f, 2017. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB.

SILVA, R.T.S. **Trocas gasosas, caracterização, citogenética e vigor de sementes dos gêneros *Opuntia e Nopalea***. 115f, 2019. Tese de doutorado em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba. UFPB, Areia, PB.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre. Artmed Editora, 2017, 858p

TAYLOR, N.; SANTOS, M.R.; LAROCCA, J.; ZAPPI, D. **Lista de Espécies da Flora do Brasil-Cactaceae**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB70>>. Acesso em 08 de abril de 2021.

TE BEEST, M.; LE ROUX, J. J.; RICHARDSON, D. M.; BRYSTING, A. K.; SUDA, J.; KUBESOVA, M.; PYSEK, P. The more the better? The role of polyploidy in facilitating plant invasions. **Annals of Botany**, v.109, n.1, p.19-45, 2012.

YAN, W. GGEbiplot: A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. **Agronomy Journal**, v.93, n.5, p.1111-1118, 2001.

YAN, W.; KANG, M.S. **GGE Biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists**. Boca Raton: CRC, 2003. 267p.

YAN, W.; TINKER, N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, Ontario, v.86, n.3, p.623-645, 2006.

YILDIZ, M. **Plant responses at different ploidy levels agricultural and biological sciences**. Current Progress in Biological Research, Marina Silva-Opps, IntechOpen, 2013.

CAPÍTULO III

ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

RESUMO

Dentre as espécies do gênero *Opuntia* e subgênero *Nopalea*, algumas podem ser mais adaptadas às condições climáticas do Semiárido paraibano. Este trabalho foi realizado com objetivo de indicar genótipos de palma forrageira, baseados nas análises de adaptabilidade e estabilidade, aos ambientes onde houve maiores rendimentos. Os ensaios foram conduzidos em 16 ambientes do Semiárido paraibano. Foram utilizados os genótipos de palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda, todos resistentes à Cochonilha-do-carmim. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os experimentos foram avaliados de 2013 a 2015 quanto ao número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódio e peso de massa seca por planta. Foram realizadas as análises não paramétricas para avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de palma forrageira, considerando os ambientes favoráveis e desfavoráveis, nos dois anos e as análises de GGE biplot, através dos gráficos de “Desempenho x Estabilidade”; “Genótipo ideal” e “Ambiente Ideal. As análises permitiram identificar os genótipos mais adaptados e estáveis, com os maiores rendimentos, em ambientes favoráveis e desfavoráveis, assim como os ambientes ideais. Tanto as análises de GGE biplot quanto as de adaptabilidade e estabilidade foram convergentes, indicando o genótipo Orelha de Elefante Mexicana para todas as características, exceto número de cladódios por planta, seja em ambientes favoráveis e desfavoráveis. O genótipo Miúda pode ser usado para adaptação específica no ambiente de Princesa Isabel. O ambiente ideal é Zabelê, caracterizado por apresentar média de chuvas anuais de 220 mm, temperatura mínima de 18 °C e máxima de 30,6 °C além de teores de potássio e carbono no solo em torno de 170 cmolc kg⁻¹ e 9 g.kg⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: lavoura xerófila; *opuntia*; *nopalea*; melhoramento genético; gge biplot.

ABSTRACT

Among the species of the genus *Opuntia* and subgenus *Nopalea*, some may be more adapted to the climatic conditions of the semiarid region of Paraíba. This work was carried out with the objective of indicating forage cactus genotypes, based on adaptability and stability analyses, to environments where there were higher yields. The tests were carried out in 16 environments in the semiarid region of Paraíba. The genotypes of forage cactus, Orelha de Elefante Mexicana, Baiana and Miúda, all resistant to Carmine Cochineal, were used. The experimental design was randomized blocks, with four replications. The experiments were evaluated from 2013 to 2015 for the number of cladodes per plant, weight of green mass per plant, average cladode weight and dry weight per plant. Non-parametric analyzes were carried out to evaluate the adaptability and stability of cactus genotypes, considering favorable and unfavorable environments, in both years and the analysis of GGE biplot, through the graphs of "Performance x Stability"; "Ideal Genotype" and "Ideal Environment. The analyzes made it possible to identify the most adapted and stable genotypes, with the highest yields, in favorable and unfavorable environments, as well as ideal environments. Both the GGE biplot and the adaptability and stability analyzes were convergent, indicating the Orelha de Elefante Mexicana genotype for all traits, except for the number of cladodes per plant, both in favorable and unfavorable environments. The Miúda genotype can be used for specific adaptation in Princesa Isabel environment. The ideal environment is Zabelê, characterized by an average annual rainfall of 220 mm, a minimum temperature of 18 °C and a maximum of 30.6 °C, in addition to potassium and carbon contents in the soil around 170 cmolc kg⁻¹ and 9 g.kg⁻¹, respectively.

Keywords: xerophilic crops; *opuntia*; *nopalea*; genetic improvement; gge biplot.

1 INTRODUÇÃO

Distribuído em todo o mundo, o gênero *Opuntia* tem grande potencial econômico, principalmente na alimentação animal, fornecendo não só energia ao rebanho, mas também água de qualidade (DUBEUX JÚNIOR et al., 2021, NAVARRETE et al., 2021). Nos períodos de estiagem, o desenvolvimento da agricultura e pecuária podem ser limitadas. Planejar e implementar práticas que promovam a sustentabilidade produtiva e ambiental nos agroecossistemas, são imprescindíveis (MATOS et al., 2021).

A adaptação deste gênero a regiões áridas e semiáridas deve-se ao seu metabolismo, conhecido como Metabolismo Ácido das Crassaláceas (CAM) (NUNES et al., 2017). Essas regiões são caracterizadas pela baixa quantidade e alta variabilidade espacial das chuvas, além do excesso de radiação e temperaturas elevadas (EDVAN et al., 2020). No Semiárido paraibano, janeiro é o mês da pré-estação chuvosa. Os meses de fevereiro e março são os meses mais chuvosos no Sertão, Cariri e Curimataú. Entre janeiro e fevereiro, o volume de chuvas na mesorregião da Brejo, Borborema e Sertão foi de 132 mm, 173 mm e 387 mm, respectivamente (AESAs, 2021).

Por serem mesorregiões com características climáticas distintas, avaliar a influência do ambiente no rendimento dos genótipos de palma forrageira torna-se uma ferramenta importante, pois fornece ao produtor rural o conhecimento de genótipos que tenham alto rendimento e que tenham comportamento previsível frente às variações ambientais. Para auxiliar na identificação desses genótipos, são utilizados vários procedimentos estatísticos (KARUNIAWAN et al., 2021). Dentre os mais utilizados estão, os métodos de ecovalência, regressão linear, multivariada.

Um método de análise não paramétrica, é o proposto por LIN e BINSS (1988) que estima a estabilidade e adaptabilidade, sendo possível identificar quais genótipos se aproximam do máximo na maioria dos ambientes. Este método não requer estabelecimento de hipóteses sobre a distribuição dos valores fenotípicos. Os parâmetros estimados são de fácil uso e interpretação (CRUZ, 2006). Outra forma de avaliar a adaptabilidade e estabilidade é utilizando o efeito principal do genótipo mais a interação, técnica conhecida como GGE biplot (*genotype main effects + genotype environment interaction*), que possibilita inferências quanto ao desempenho dos genótipos nos ambientes, com visualização gráfica dos dados (YAN e KANGA, 2003).

Tanto o método proposto por Lin e Binss quanto o GGE biplot expõe os genótipos que tem alto rendimento em condições favoráveis, desfavoráveis e abaixo ou acima da média. Ter

alguma previsibilidade influencia na escolha de um genótipo com alta adaptação e estabilidade, minimizando assim os riscos de baixo potencial produtivo ao longo do tempo e das variações ambientais.

Com o objetivo de minimizar os efeitos dessas variações, indica-se que os ensaios sejam realizados em diferentes ambientes e anos (BORNHOFEN et al., 2017). Em caso contrário, as principais complicações decorrentes de GxA são inconsistências na identificação, seleção e recomendação de genótipos (SOARES et al., 2017). O objetivo desse trabalho foi indicar genótipos de palma forrageira, baseados nas análises de adaptabilidade e estabilidade, aos ambientes onde houve maiores rendimentos.

2 METODOLOGIA

Área de estudo e implantação do experimento

Os ensaios foram realizados em 16 municípios do Semiárido Paraibano, entre os anos de 2013 e 2015. Cada área com 1 hectare, foi subdividida em dois campos experimentais para a coleta de dados no primeiro ano e ao final de dois anos. Os municípios pertencem a Mesorregião do Sertão Paraibano (Microrregiões, Cajazeiras, Piancó, Itaporanga e Serra do Teixeira), Mesorregião da Borborema (Microrregiões do Seridó Ocidental, Cariri Ocidental e Cariri Oriental); e as terras do Planalto da Borborema, conhecidas como Curimataú, representadas pela Microrregião do Curimataú Ocidental (Tabela 1).

Foi realizada limpeza das áreas, aração e gradagem. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições. O espaçamento foi o de 1,5×0,5×0,5 m em sistema de fileiras duplas, correspondente à uma densidade de 20.000 plantas ha⁻¹. Adubos orgânicos foram aplicados em todos os campos experimentais 60 dias após o plantio. Foram utilizados esterco bovino via solo na dosagem de 20,0 ton.ha⁻¹, ácido húmico no solo e fúlvico via foliar na dosagem de 5 L.ha⁻¹, respectivamente. Ambos os ácidos foram diluídos em água na proporção de 1:100 (v:v). Localização, altitude e precipitação foram georreferenciadas e encontram-se na Tabela 1 e a caracterização individual dos atributos químicos e físicos do solo encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 – Localização das áreas experimentais e precipitação no período de agosto de 2013 a julho de 2015.

Municípios	Localização				Precipitação (mm ano ⁻¹)			
	Microrregião	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Temperatura (min - máx)	2013/2014	2014/2015	Volume acumulado
1 Boqueirão	Cariri Oriental	7° 28' 54" S	36° 08' 06" O	355	20 - 31,4 °C	82,4	232,9	300
2 Cuité	Curimataú Ocidental	6° 29' 01" S	36° 09' 13" O	649	20 - 31,4 °C	309,3	167,1	476,4
3 Teixeira	Serra do Teixeira	7° 13' 22" S	37° 15' 15" O	768	18,6 - 30,6 °C	504,0	390,6	894,6
4 Bonito de Santa Fé	Cajazeiras	7° 18' 45" S	38° 28' 32" O	571	19,6 - 32,2 °C	307,4	388	695,4
5 Itaporanga	Itaporanga	7° 20' 4" S	38° 7' 36" O	290	21,2 - 33 °C	375	340,4	717,4
6 São João do Cariri	Cariri Oriental	7° 23' 27" S	36° 32' 2" O	458	20 - 31,4 °C	182	307	489
7 Zabelê	Cariri Ocidental	8° 4' 13" S	37° 5' 1" O	649	18 - 30,6 °C	182	263,3	445,3
8 Boa Vista	Campina Grande	7° 17' 29" S	36° 07' 16" O	450	20 - 31,4 °C	213,2	111,9	324,9
9 Catingueira	Piancó	7° 7' 33" S	37° 36' 32" O	287	19,2 - 29,8 °C	392	152,3	544,3
10 Diamante	Itaporanga	7° 21' 48" S	38° 24' 34" O	189	21,2 - 33 °C	375,0	324,5	699,5
11 Junco do Seridó	Seridó Ocidental	6° 59' 54" S	36° 43' 3" O	590	20 - 31,4 °C	225,3	195,2	420,5
12 Princesa Isabel	Serra do Teixeira	7° 43' 56" S	37° 59' 1" O	675	19,2 - 31,4 °C	447,5	300,8	748,3
13 Santa Inês	Itaporanga	7° 36' 31" S	38° 32' 33" O	451	19,6 - 32,2 °C	335,2	326,6	661,8
14 São Domingos do Cariri	Cariri Oriental	7° 37' 14" S	36° 26' 21" O	417	20 - 31,4 °C	250,6	176,9	427,5
15 Soledade	Curimataú Ocidental	7° 3' 26" S	36° 21' 46" O	521	20 - 31,4 °C	149,5	122,1	271,6
16 Taperoá	Cariri Ocidental	7° 14' 17" S	36° 53' 26" O	533	20 - 31,4 °C	210,8	158,2	369

Precipitação: Dados constantes na base de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA.

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos solos das 16 áreas experimentais.

Campo experimental	pH	COT	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al ³⁺	Argila - areia	CTC
	água	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹				mg kg	
1 Boqueirão	7,0	1,37	7,52	0,18	0,07	13,77	1,79	1,47	136 - 648	160
2 Cuité	6,5	1,74	4,92	0,26	0,07	6,70	0,08	1,67	165 - 612	242
3 Teixeira	7,3	1,00	9,18	1,64	0,03	4,40	0,70	0,72	183 - 622	186
4 Bonito de Santa Fé	6,6	20,62	4,45	238	0,06	7,65	2,51	2,45	246 - 550	210
5 Itaporanga	6,0	10,70	12,91	140	0,14	6,00	1,28	1,13	217 - 501	152
6 São João do Cariri	7,0	2,57	27,25	66,30	0,04	4,57	0,23	0,66	242 - 541	162
7 Zabelê	6,7	9,00	10,93	176	0,05	5,70	0,43	1,45	166 - 630	168
8 Boa Vista	6,2	8,14	5,52	39,00	0,07	6,06	2,78	2,52	225 - 564	210
9 Catingueira	7,4	0,31	20,54	0,80	0,64	7,49	0,66	0,89	211 - 528	192
10 Diamante	6,2	17,70	5,85	144	0,05	7,60	1,70	0,70	245 - 540	205
11 Junco do Seridó	5,8	3,82	8,55	35,10	0,04	1,25	1,05	1,13	207 - 607	258
12 Princesa Isabel	6,5	6,59	6,50	101	0,07	5,03	1,10	1,83	174 - 609	163
13 Santa Inês	7,5	4,90	23,24	39	0,07	8,99	3,20	1,38	203 - 575	176
14 São Domingos do Cariri	7,4	8,40	37,40	172	0,07	6,97	3,53	1,39	168 - 640	168
15 Soledade	7,1	4,97	18,20	89,70	0,38	6,31	0,84	0,27	145 - 643	194
16 Taperoá	7,8	7,44	30,90	176	0,05	3,40	1,38	0,72	206 - 613	223

pH: água (1:2,5); P e K: Mehlich-1; Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺: KCl 1 mol/L; H⁺+Al³⁺, Al³⁺: Acetato de Ca 0,5 mol/L⁻¹

Material vegetal

Foram utilizados cladódios sementes de três genótipos de palma forrageira resistentes a Cochonilha-do-Carmim (*Dactylopius Opuntiae*) são eles, palma Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), Miúda e Baiana (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dick.).

Variáveis e análise estatística

Os dados foram coletados aos 12 e 24 meses após o plantio. Foram avaliados o número de cladódios por planta (NCP), obtido através da contagem total dos cladódios brotados, peso de massa verde (PMV) somatório do peso de todos os cladódios por planta em grama, peso médio de cladódio (PMC), obtido pela divisão de PMV por NCP, em grama e PMS (peso de massa seca por planta) obtido por meio de pré-secagem em ambiente aberto, seguida de secagem em estufa a 65°C até peso constante, que foi calculada multiplicando-se a PMV pelos teores de PMS e divididos por 100 (RODRIGUES, 2010).

Para as análises de adaptabilidade e estabilidade foi utilizada a metodologia proposta por Lin e Binns (1988). Esses autores propuseram estimar a estabilidade e adaptabilidade utilizando o quadrado médio da distância entre a média do genótipo e a resposta média máxima obtida no ambiente, com decomposição do estimador P_i a ambientes favoráveis e desfavoráveis. De tal modo que as vantagens foram maior facilidade na interpretação e facilidade de recomendação dos genótipos a grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis. Além disso, contempla o genótipo desejado, já que classifica os genótipos de média alta e constante em ambientes desfavoráveis e com capacidade de resposta à melhoria da condição ambiental, tendo sido eleita por muitos autores a metodologia que melhor classificou e discriminou o conjunto de genótipos (MURAKAMI et al., 2004; ALBRETCHT et al., 2008; CARGNIN et al., 2006).

O parâmetro P_i foi denominado MAEC (medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento) e se refere ao desempenho e comportamento diante de variações ambientais. Desta forma, para os ambientes favoráveis, com índice ambiental positivo, incluindo o valor zero, o parâmetro MAEC é dado por:

$$P_{ifav} = \frac{\sum_{j=1}^f (X_{ij} - M_j)^2}{2f}$$

Em que:

P_{ifav} : é a estimativa da estabilidade e adaptabilidade do genótipo i;

X_{ij} : é a produção média do genótipo i no ambiente j;

M_j : é a resposta máxima observada entre todos os genótipos no ambiente j ;
 f : número de ambientes favoráveis.

Do mesmo modo, para os ambientes desfavoráveis, com índice ambiental negativo, esse parâmetro é dado por:

$$P_{\text{desfav}} = \frac{\sum_{j=1}^d (X_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

Em que d é o número de ambientes desfavoráveis, X_{ij} e M_j são definidos como no item anterior. A classificação dos ambientes foi feita com base nos índices ambientais, definidos como a diferença entre a média dos genótipos avaliados em cada local e a média geral.

A interação genótipo x ambiente foi analisada pelo método GGE biplot, a seguir:

$$Y_{ij} - y_j = \lambda_1 \alpha_{i1} \beta_{j1} + \lambda_2 \alpha_{i2} \beta_{j2} + \epsilon_{ij}$$

Em que:

- Y_{ij} , representa a média do genótipo i no ambiente j ;
- y_j , é a média geral dos genótipos no ambiente j ;
- λ_1 e λ_2 , são os valores singulares do primeiro e segundo componente principal, respectivamente;
- α_{i1} e α_{i2} , são os dois primeiros autovetores para o i -ésimo genótipo;
- β_{j1} e β_{j2} , são os dois primeiros autovetores para o j -ésimo ambiente e
- ϵ_{ij} , é o erro associado ao modelo bidimensional, ou seja, a porcentagem dos efeitos $G + G \times A$ não explicada pelos dois primeiros componentes principais.

As análises de interação genótipo x ambiente e de adaptabilidade e estabilidade foram feitas no software R, com o pacote metan (OLIVOTO E LÚCIO, 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, os genótipos com menor valor de Pi geral, são os melhores genótipos, considerando apenas ambientes favoráveis ou desfavoráveis.

Tabela 3 – Estimativas de adaptabilidade e estabilidade. As colunas consistem de média, índice de superioridade geral (todos os ambientes), considerando apenas ambientes favoráveis e ambientes desfavoráveis e as linhas são as variáveis de 3 genótipos de palma forrageira em dezesseis municípios do Semiárido paraibano.

	Ano I				Ano II			
	Média	Pi geral	Pi fav.	Pi des.	Média	Pi geral	Pi fav.	Pi des.
NCP								
Oem	7.09	36.20	139	12.60	7.47	149	259	64.20
Bai	7.82	27.10	97.50	10.90	11.20	94.90	159	45.20
Miu	12.70	0.99	5.30	0	23.20	0	0	0
PMV								
Oem	2311	1074	2864	0	4221	350373	768287	25328
Bai	1692	306875	501848	189891	3780	740274	1490464	156794
Miu	1562	417101	665110	268296	3879	816468	1536563	256395
PMC								
Oem	440	0	0	0	555	0	0	0
Bai	266	18941	28887	8994	332	28188	33826	18791
Miu	122	58378	86272	30484	160	84542	105110	50263
PMS								
Oem	189	0	0	0	574	5134	10739	774
Bai	126	2985	5442	1074	462	22026	37675	9854
Miu	126	2635	4000	1574	551	9650	13742	6468

NCP = número de cladódios por planta; PMV = peso de massa verde por planta; PMC = peso médio de cladódio; PMS = peso de massa seca por planta.

O genótipo Miúda têm as menores estimativas dos parâmetros Pi para a característica NCP e é adaptado e estável, em ambientes favoráveis e desfavoráveis, contudo, o acúmulo de massa verde é menor, quando comparada aos demais genótipos (Tabela 3). EDVAN et al., (2020) concluiu que no genótipo Miúda, o maior número de cladódios é uma característica inerente a ele, ou seja, de fato esse genótipo produz cladódios em maior número.

O genótipo Orelha de Elefante Mexicana tem maior desempenho em ambientes favoráveis e desfavoráveis, sendo adaptado e estável para todas características de produção, com médias superiores aos demais genótipos. Este genótipo é mais resistente à temperatura elevada e baixo volume de chuvas.

Além disso, morfologicamente, genótipos do gênero *Opuntia* e subgênero *Nopalea*, apresentam cladódios com características morfológicas diferentes e são fortemente influenciados pelas condições edafoclimáticas, como por exemplo a maior capacidade de

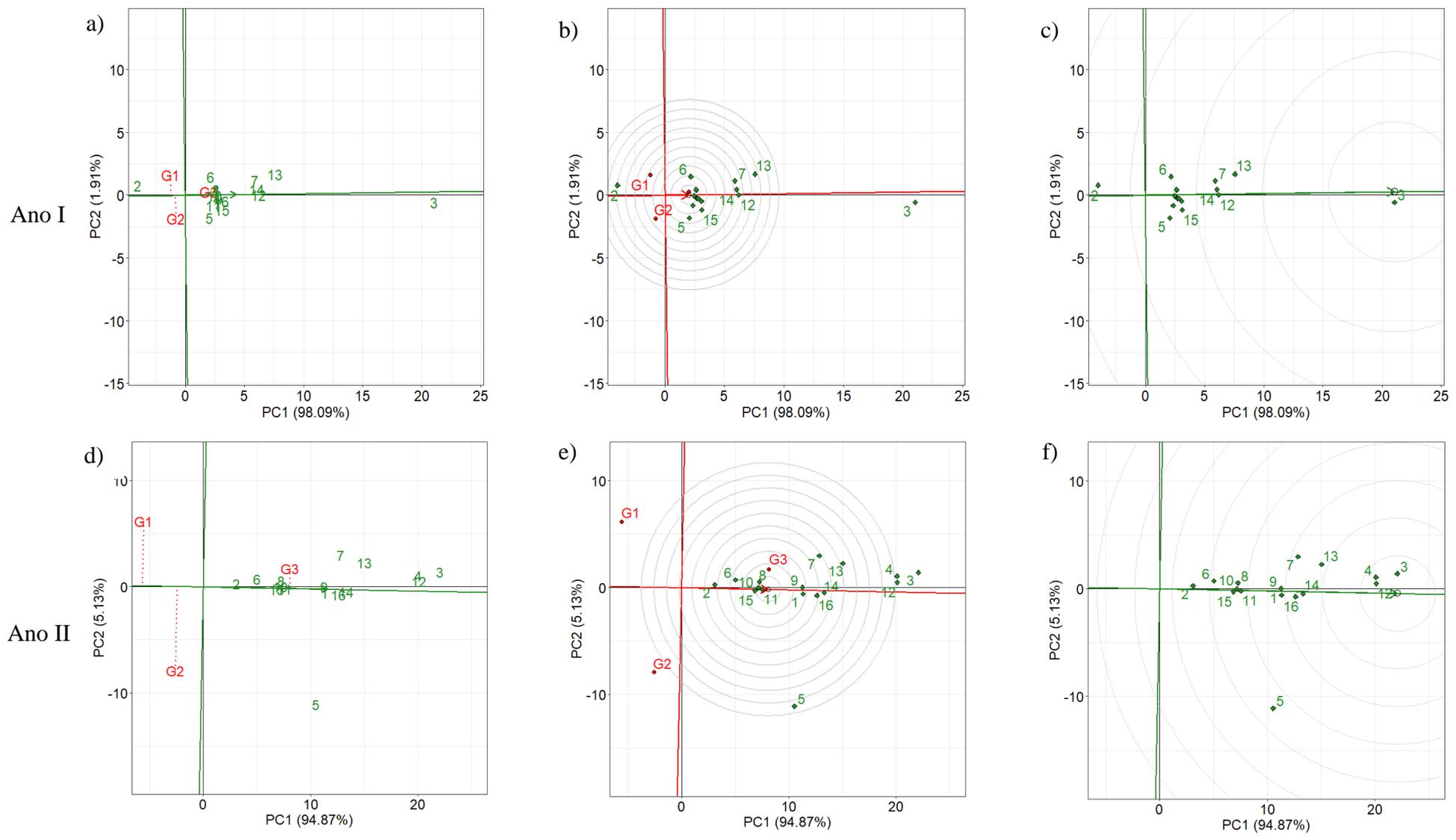
acumular água, a depender do tamanho ou espessura dos cladódios da palma forrageira (EDVAN et al., 2020). O genótipo Orelha de Elefante Mexicana tem cladódios maiores. Essa característica permite um maior acúmulo de água no interior dessas estruturas. Essa característica é importante para plantas que estão em ambientes com baixos volumes de chuva, pois seu metabolismo e, conseqüentemente, seu rendimento estão função da quantidade de água armazenada no interior dos cladódios.

A combinação de volume de chuva, temperatura e também as características químicas e físicas do solo (Tabelas 1 e 2) influenciam no rendimento dos genótipos. Utilizando alguns indicadores climáticos elaboração do zoneamento agroclimático no estado da Paraíba, para o cultivo da palma forrageira e descritos por BEZERRA et al., (2014), neste estudo basicamente o cultivo da palma forrageira está em regiões de aptidão plena (temperatura mínima menor que 20,4 °C, máxima de 31,5°C e precipitação entre 368 e 812 mm) nos municípios de São João do Cariri, Boa Vista, Soledade, Junco do Seridó, Taperoá e Zabelê, Boqueirão e aptidão com restrição (temperatura mínima maior que 20,4 °C, máxima maior que 31,5 °C e precipitação menor que 368 mm ou maior que 812 mm) nos municípios de Cuité, São Domingos do Cariri, Teixeira, Catingueira, Itaporanga, Diamante, Princesa Isabel, Santa Inês e Bonito de Santa Fé.

Mesmo com as condições climáticas nas regiões Aptas com restrição, a palma forrageira tem um elevado aproveitamento da água da chuva, principalmente devido ao seu metabolismo CAM. Além do mais, através das suas regiões pilíferas, nas raízes, essas plantas conseguem aproveitar chuvas de baixa intensidade por encontrarem-se próximas a superfície, entre 10-20 cm (RAMOS et al., 2011). Mesmo em épocas de estiagem, essas características permitem um armazenamento de grande quantidade de água nos cladódios. Como esta cultura é utilizada principalmente para alimentação animal, em cultivos adensados pode fornecer em torno de 360.000 litros de água ao rebanho (CÂNDIDO et al., 2013).

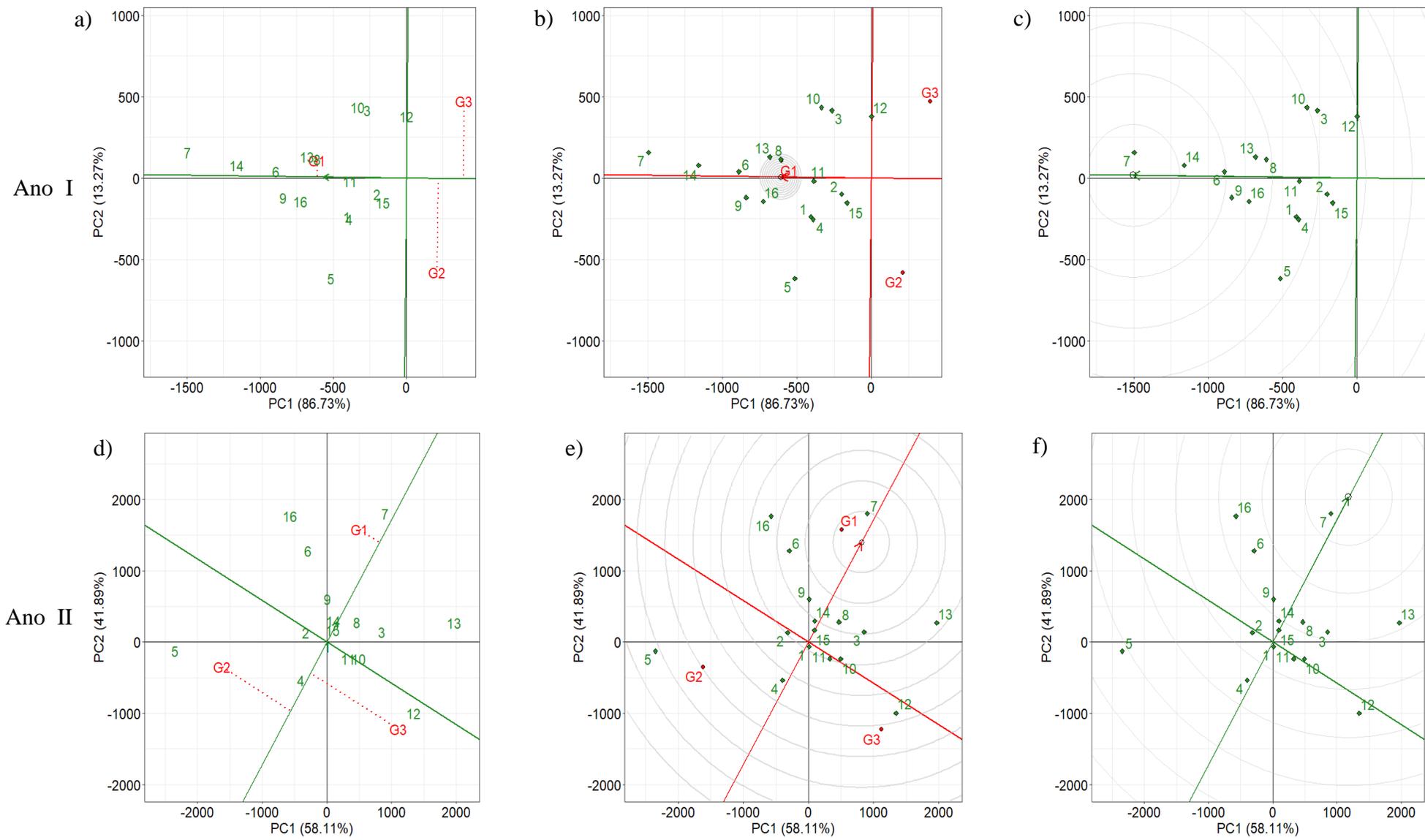
No entanto, é importante salientar que alguns genótipos são mais adaptados e estáveis que outros. A análise gráfica de GGE biplot pode ser utilizada para identificar graficamente esses geótipos, por meio dos gráficos de “Desempenho x Estabilidade”; “Genótipo ideal” e “Ambiente Ideal. Nas Figuras 1, 2, 3, 4 esses gráficos são apresentados para as características número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódio e peso de massa seca por planta, nos 16 municípios (ambientes).

Figura 1 – “Desempenho x Estabilidade” (a, d), “Genótipo ideal” (b, e), “Ambiente ideal” (c, f) para a característica número de cladódios por planta em 2 anos de cultivo, para os genótipos, Orelha de Elefante Mexicana (G1), Baiana (G2) e Miúda (G3).



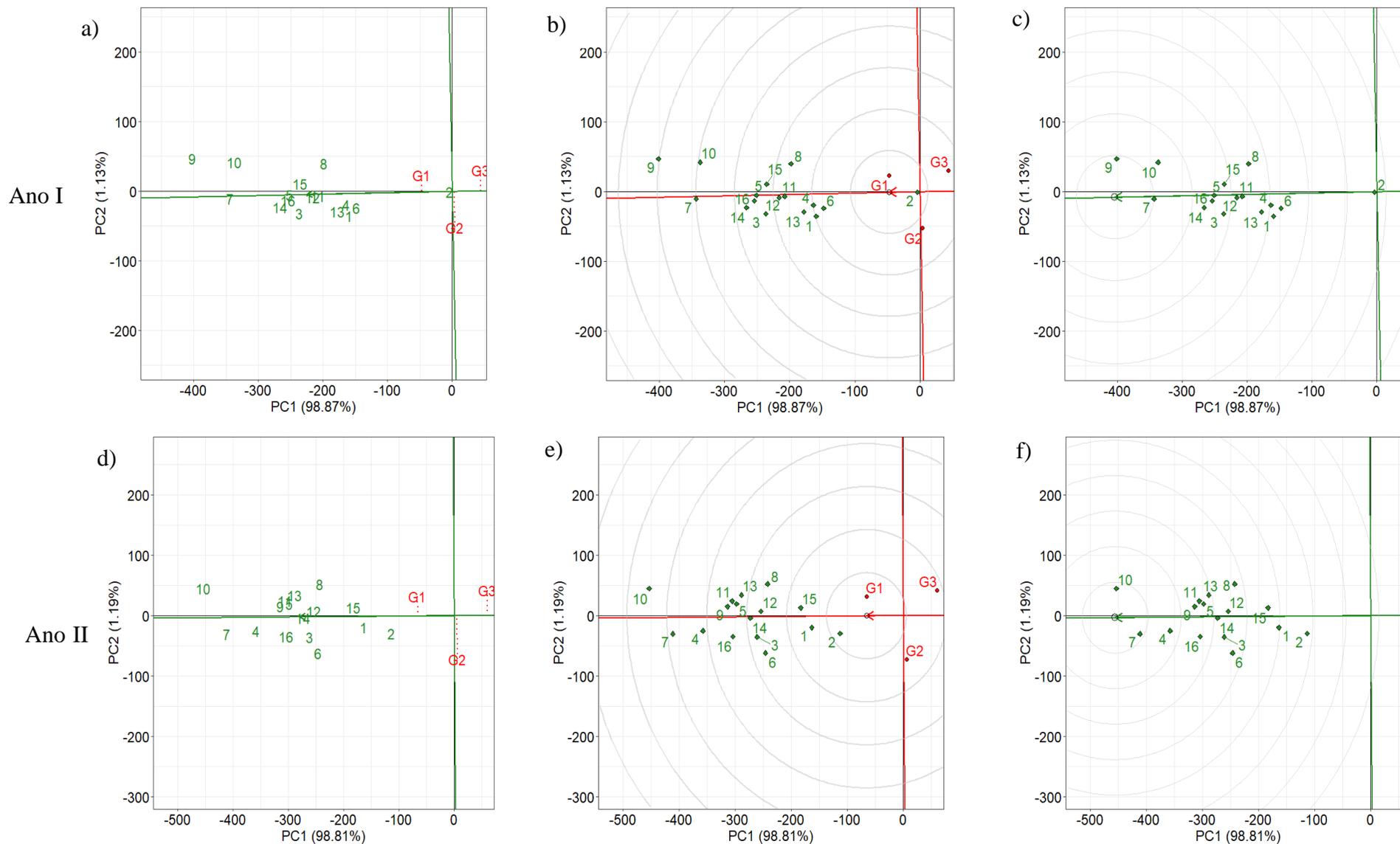
1 = Boqueirão; 2 = Cuité; 3 = Teixeira; 4 = Bonito de Santa Fé; 5 = Itaporanga; 6 = São João do Cariri; 7 = Zabelê; 8 = Boa Vista; 9 = Catingueira; 10 = Diamante; 11 = Junco do Seridó; 12 = Princesa Isabel; 13 = Santa Inês; 14 = São Domingos do Cariri; 15 = Soledade; 16 = Taperoá

Figura 2 – “Desempenho x Estabilidade” (a, d), “Genótipo ideal” (b, e), “Ambiente ideal” (c, f) para a característica peso de massa verde por planta, em 2 anos de cultivo, para os genótipos, Orelha de Elefante Mexicana (G1), Baiana (G2) e Miúda (G3).



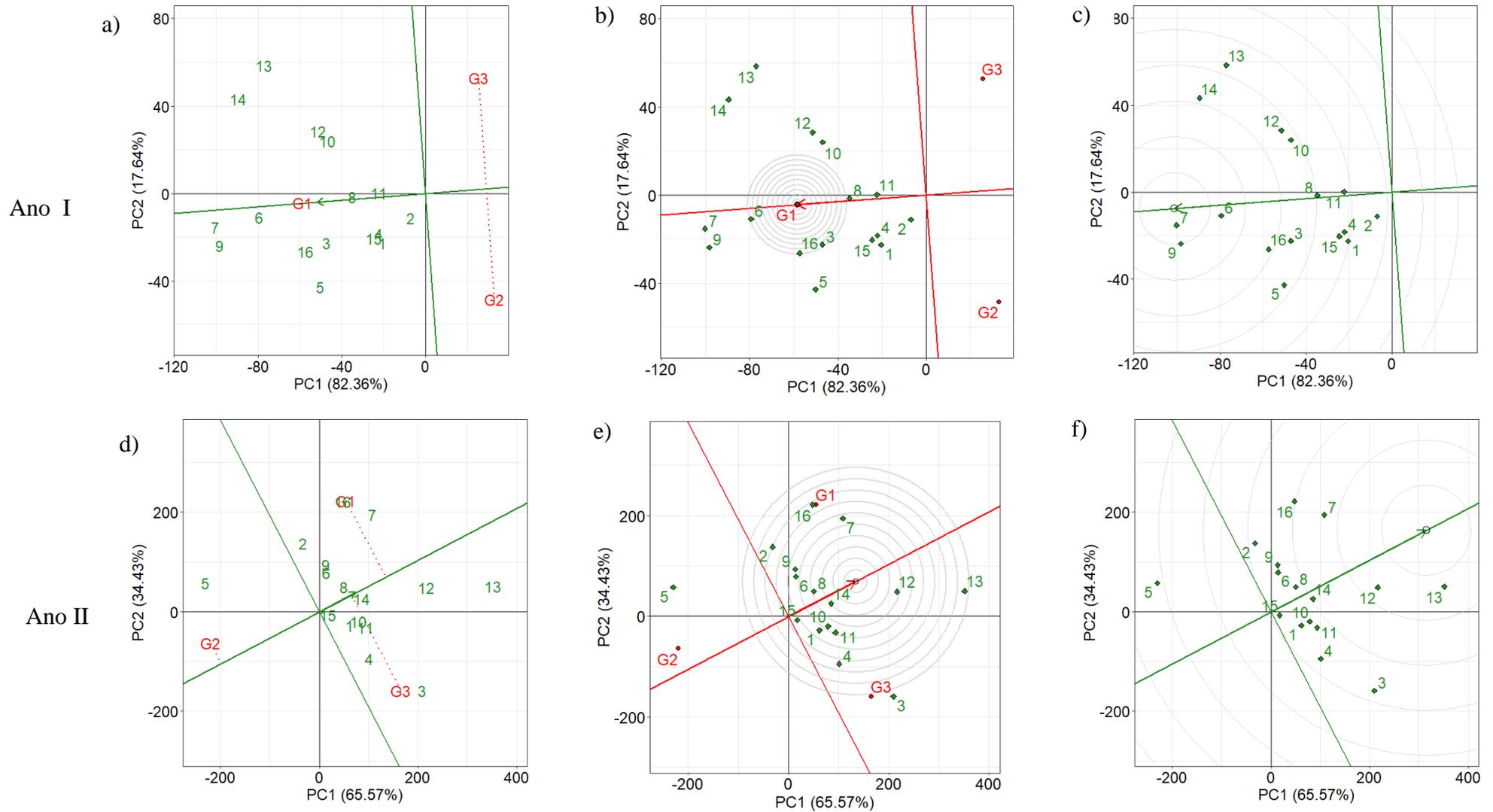
1 = Boqueirão; 2 = Cuité; 3 = Teixeira; 4 = Bonito de Santa Fé; 5 = Itaporanga; 6 = São João do Cariri; 7 = Zabelê; 8 = Boa Vista; 9 = Catingueira; 10 = Diamante; 11 = Junco do Seridó; 12 = Princesa Isabel; 13 = Santa Inês; 14 = São Domingos do Cariri; 15 = Soledade; 16 = Taperoá

Figura 3 – “Desempenho x Estabilidade” (a, d), “Genótipo ideal” (b, e), “Ambiente ideal” (c, f) para a característica peso médio de cladódio por planta em 2 anos de cultivo, para os genótipos, Orelha de Elefante Mexicana (G1), Baiana (G2) e Miúda (G3). 86



1 = Boqueirão; 2 = Cuité; 3 = Teixeira; 4 = Bonito de Santa Fé; 5 = Itaporanga; 6 = São João do Cariri; 7 = Zabelê; 8 = Boa Vista; 9 = Catingueira; 10 = Diamante; 11 = Junco do Seridó; 12 = Princesa Isabel; 13 = Santa Inês; 14 = São Domingos do Cariri; 15 = Soledade; 16 = Taperoá

Figura 4 – “Desempenho x Estabilidade” (a, d), “Genótipo ideal” (b, e), “Ambiente ideal” (c, f) para a característica peso de massa seca por 87 planta em 2 anos de cultivo, para os genótipos Orelha de Elefante Mexicana (G1), Baiana (G2) e Miúda (G3).



1 = Boqueirão; 2 = Cuité; 3 = Teixeira; 4 = Bonito de Santa Fé; 5 = Itaporanga; 6 = São João do Cariri; 7 = Zabelê; 8 = Boa Vista; 9 = Catingueira; 10 = Diamante; 11 = Junco do Seridó; 12 = Princesa Isabel; 13 = Santa Inês; 14 = São Domingos do Cariri; 15 = Soledade; 16 = Taperoá

Os gráficos “Desempenho x Estabilidade” permitem a avaliação de genótipos de alto desempenho e alta estabilidade. No biplot, quanto maior for o valor do primeiro componente (PC1), maiores são as médias dos genótipos. Se o segundo componente (PC2) está próximo de zero, os genótipos são mais estáveis. Assim, as estimativas de PC1 para a característica número de cladódios por planta foram superiores a 94%, ou seja, PC1 explica a variação total para esta característica, evidenciando que o genótipo Miúda é estável e com maior desempenho em relação aos demais (Figuras 1a, 1d, 1b e 1e), corroborando com os resultados apresentados na tabela 3.

Os genótipos Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda, avaliados quanto ao número de cladódios por planta, em diferentes Microrregiões do estado do Piauí, foi observado que o genótipo Miúda também apresentou um maior número de cladódios por planta (EDVAN et al., 2020). Quanto ao “Ambiente ideal”, houve ampla adaptação do genótipo Miúda (Figura 1c e 1f), exceto no ambiente 2 (Cuité) no ano I e 5 (Itaporanga) no ano II. Os ambientes 3 e 12 (Teixeira e Princesa Isabel) destacaram-se e fazem parte da mesma Microrregião (Serra do Teixeira), com um volume de chuvas acumuladas nos dois anos, entre 700 e 900 mm e altitude acima de 600 m e 800 m. Nesse caso, quando os ambientes pertencem a mesma Microrregião, o interessante é escolher apenas um desses ambientes para diminuir os custos de implantação de campos experimentais. O ambiente 5 que aparece mais afastado da reta EAM é Itaporanga, pertencente a Microrregião de Itaporanga, com acúmulo de chuvas de 717,4 mm nos dois anos, altitude de 290 m e temperatura mínima de 21,2 °C e máxima de 33 °C.

Vale salientar que para este estudo, “genótipo ideal” e “ambiente ideal”, a classificação foi realizada com base nos dois anos avaliados e plotados no biplot. É importante que essa avaliação aconteça em anos seguidos, pois a avaliação de GxA possui eficiência no melhoramento quando essa é observada ao longo do tempo (RUSSSEL et al., 2003).

Para a característica peso de massa verde por planta (Figura 2) o genótipo Orelha de Elefante Mexicana teve melhor desempenho e estabilidade (Figura 2a e 2d), além de ser o genótipo ideal (Figura 2b e 2e). O ambiente ideal para essa característica é 7 (Zabelê), (Figuras 2c e 2f). O ambiente 5 (Itaporanga) assim como na característica número de cladódios por planta, apresenta um bom desempenho, é um ambiente discriminante, porém não é representativo. O ambiente 12 (Princesa Isabel), nas mesmas figuras, aparece também como um ambiente discriminante.

Na característica peso médio de cladódio (Figura 3) o genótipo Orelha de Elefante Mexicana também teve melhor desempenho, estabilidade e foi considerado o genótipo ideal (Figura 3a, 3d). Os ambientes ideais foram 7 e 10 (Zabelê e Diamante), nos dois anos de cultivo.

As características ambientais que podem ter favorecido o desempenho desse genótipo principalmente no município de Zabelê, são os teores de potássio no solo de 170 mg kg^{-1} , as características físicas do solo como, areia 170 mg kg^{-1} e argila 630 mg kg^{-1} , além da temperatura mínimas entre $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e de $31,4 \text{ }^\circ\text{C}$, além do volume de chuvas acumulado nos dois anos entre $445,3 \text{ mm}$. No município de Diamante a quantidade de potássio no solo foi de 144 mg kg^{-1} , quantidade de areia no solo de 245 mg kg^{-1} e argila 540 mg kg^{-1} . A temperatura mínima foi de $21,2 \text{ }^\circ\text{C}$ e máxima de $33 \text{ }^\circ\text{C}$. O volume de chuvas acumulado nos dois anos foi de $699,5 \text{ mm}$.

Tanto temperatura quanto altitude podem representar uma uma condição ambiental para discriminar um ambiente. Nesse caso, quando um genótipo tem a capacidade de produzir diferentes respostas, têm-se o que se chama de plasticidade fenotípica. Assim, a plasticidade fenotípica representa a capacidade de um mesmo genótipo produzir diferentes respostas às características do ambiente devido as suas adaptações morfológicas, fisiológicas ou bioquímicas (BASTIAS et al., 2018).

Em relação ao peso de massa seca por planta, o genótipo Orelha de Elefante Mexicana teve melhor desempenho e estabilidade (Figura 4a e 4d) e também é o genótipo ideal (Figura 4b e 4e). Para ambiente ideal (Figura 4c e 4f), é possível observar o ambiente 7 (Zabelê) com maior destaque nos dois anos avaliados. Um fator abiótico que está fortemente relacionado com o crescimento vegetativo é a quantidade de água no solo, influenciando nos processos fisiológicos e acúmulo de biomassa. É possível observar neste trabalho que, mesmo em ambientes diferentes, as variações no volume de chuva promoveram diferenciadas respostas entre os genótipos. Além disso, conforme observado neste ambiente (Tabela 2) é um dos maiores teores de potássio (K^+) acima de 174 mg.kg^{-1} . O potássio tem um papel crucial na planta. Ele regula o processo metabólico como a absorção de água e controle na abertura e fechamento dos estômatos, promovendo assim mecanismos de defesa contra o estresse (CHAKRABORTY, et al., 2016). O Genótipo Orelha de Elefante Mexicana tem maior capacidade de captação K^+ , juntamente com uma alocação adequada deste íon nos cladódios. Esse genótipo além de ser superior, inclusive no seu ajuste osmótico, tamanho do cladódio e rendimento de massa verde, apresenta maior acúmulo de K^+ , superior 66% em comparação aos genótipos Baiana e Miúda (JARDIM et al., 2021).

Fatores como radiação solar e temperaturas extremas também influenciam no crescimento vegetal (ANJOS et al., 2014; LIMA et al., 2018). Estudando sobre respostas fotoquímicas, JARDIM et al., (2020), avaliaram que no genótipo Miúda esses fatores geram um grande impacto, como a queda na eficiência do uso de elétrons durante a fixação de carbono, com danos no PSII (fotossistema II) e alta dissipação de energia. O que não ocorre com o genótipo Orelha de Elefante Mexicana. Este genótipo mostrou-se superior no seu ajuste osmótico, que leva a um alto desempenho, intimamente associado com o fotossistema II. Além do mais, morfologicamente, seus cladódios são maiores. O metabolismo destas plantas aumenta quando os cladódios interceptam mais radiação solar, promovendo um aumento na produção de substrato para fotossíntese (SILVA et al., 2015, DREZNER, 2020). Essa mesma superioridade é observada nesse trabalho para as características de produção. O genótipo Orelha de Elefante Mexicana é um genótipo tetraplóide e isso significar ter uma série de vantagens relacionadas ao desempenho fotossintético, maiores órgãos e elevada produção de massa verde, quando comparado aos diplóides, como os genótipos Miúda e Baiana (SILVA 2019), além da alta produção de massa seca.

Mesmo cultivada em ambientes de aridez, com chuvas escassas, a palma forrageira tem demonstrado alto potencial produtivo. É importante compreender a adequação dos genótipos nos ambientes (LUCENA et al., 2016) principalmente dos genótipos que melhor se adequam à determinada Microrregião (EDVAN et al., 2020). Diante do quadro das mudanças climáticas, os setores econômicos sofrerão grandes impactos no crescimento das safras e, conseqüentemente, na produtividade. Planejar estratégias será imprescindível para adaptação das culturas (GEORGOPOULOU et al., 2017). Entre 2030 e 2052, a temperatura do planeta deverá ultrapassar 1,5°C (IPCC, 2021).

Assim, como estratégia de desenvolvimento local, o genótipo Orelha de Elefante Mexicana pode ser indicado para desenvolver a pecuária em regiões do Semiárido Paraibano. Inclusive, na Microrregião do Cariri Ocidental, são 11.475 estabelecimentos rurais. Deste total 1.640 são estabelecimentos de cultivo de palma forrageira. Em Zabelê, por exemplo, são 266 estabelecimentos rurais mas apenas 16 são estabelecimentos de cultivo de palma forrageira, com uma área colhida de 8,3 ha e produção de 56 t. Assim, em ambientes semiáridos deve-se considerar que a capacidade de suporte seja multiplicada por três para um melhor forrageamento do rebanho (ARAÚJO et al., 2019). Isso permite inferir que, mesmo sendo o melhor ambiente para o cultivo da palma, Zabelê está aquém do que poderia ter em termos de

estabelecimentos de cultivo de palma para considerar uma capacidade de suporte eficaz para convivência com o semiárido, principalmente nos meses secos.

De acordo com as análises de GGE biplot o ambiente com maior destaque para número de cladódios por planta são 3 e 12 (Teixeira e Princesa Isabel) e para as características de produção é 7 (Zabelê). Este último apresenta condições climáticas favoráveis para o cultivo da palma forrageira e está na Mesorregião da Borborema, pertencente a uma região de Aptidão plena para o cultivo da palma forrageira. As Mesorregiões do Agreste, Sertão e parte do Litoral, são aptas, porém com restrições. A recomendação é que a palma seja cultivada em todo o território do estado da Paraíba, com exceção Mesorregião do Litoral pois é onde ocorre excesso de precipitação (BEZERRA et al., 2014).

Combinar o genótipo mais adaptado aos ambientes analisados possibilita aumentar a produção de biomassa. É importante observar as variações nas características dos genótipos e inter-relacioná-las com os ambientes, atributos químicos do solo e volume de chuva, para obter rendimentos expressivos (MATOS et al., 2021). Tornar a atividade agropecuária mais sustentável é considerar também a adaptabilidade da palma forrageira, potencializando a pecuária no Semiárido brasileiro e melhorando a vida do homem no campo (DONATO et al., 2017; LÉDO et al., 2020).

4 CONCLUSÃO

O genótipo Baiana não tem estabilidade para nenhuma das características. Há evidências de adaptação específica do genótipo Miúda no ambiente de Princesa Isabel. O genótipo ideal é o Orelha de Elefante Mexicana pois apresenta adaptabilidade e estabilidade para todas as características de massa. Dentre os ambientes avaliados, o ambiente de Zabelê destaca-se e pode servir como ambiente-teste em programas de melhoramento genético da palma forrageira, para seleção de genótipos superiores.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, D. N.; VASCONCELOS, R. C.; MENDES, H. T. A.; CANFUSSU, A. C. V. Gas exchange in the bean plant subject to growth regulators, NPK and micronutrientes. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1797-1804, 2014
- ARAÚJO, J.S.; PEREIRA, D.D.; LIRA, E.C.; FÉLIX, E.S.; SOUZA, J.T.A.; LIM, W.B. **Palma forrageira: plantio e manejo**. Campina grande – PB: INSA, 2019, 60p.

BARROS, J.L.; DONATO, S.L.R.; GOMES, V.M.; DONATO, P.E.R.; SILVA, J.A.; PADILHA JÚNIO, M.C. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, v.7, n.1, p.53-65, 2016.

BEZERRA, B.G.; ARAÚJO, J.S.; PEREIRA, D.D.; LAURENTINO, G.G.; SILVA, L.L. Agroclimatic zoning of cactus pear (*Opuntia* sp.) for the Paraíba state. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v.18, n.7, p.1-7, 2014.

BORNHOHEN, E.; BENIN, G.; STORCK, L.; WOYANN, L.G.; DUARTE, T.; STOCO, M.G.; MARCHIORO, S.V. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Bragantia**, v.76, n.1, p.1-10, 2017.

DREZNER, T.D. The importance of microenvironment: *Opuntia* plant growth, form and the response to sunlight. **J. Arid Environ.** 178, 104-144, 2020.

DONATO, P.E.R., Donato, S.L.R., Silva, J.A., Pires, A.J.V.; Silva Junior, A.A. e., 2017a. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacings and organic fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 21, 238-243. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p238-243>.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.; SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M.V.; SANTOS, D.C.; SOUZA, R.T.A.; MELLO, A.C.L.; SOUZA, T.C. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.275, p.1-14, 2021.

KARUNIAWAN, A.; MAULANA, H.; USTARI, D.; DEWAYANI, S.; SOLIHIN, E.; AMIR SOLIHIN, A.; AMIEN, S.; ARIFIN, M. Yield stability analysis of orange - Fleshed sweet potato in Indonesia using AMMI and GGE biplot. **Helyon**, v.7, p.1-10, 2021.

KRISHNAMURTHY, et al. Identification of megaenvironments and rice genotypes for general and specific adaptation to saline and alkaline stresses in India. **Scientific Reports**, v.7, p.1-14, 2017.

KU-VERA, J.C.; JIMÉNEZ, R.O.; VALENCIA, S.S.; FLORES, M. D.M.; BOTERO, I.C.B.; ARANGO, J.; GÓMEZ, C.A.B.; AGUILAR, C.F.P.; SANCHÉZ, F.J.S. Role of Secondary Plant Metabolites on Enteric Methane Mitigation in Ruminants. **Front. Vet. Sci.**, v. 7, n. 584, 2020.

LÉDO, A.A.; DONATO, S.L.R.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, J.A. DA; BRITO, C.F.B.; DONATO, P.E.R., 2021. Nutritional balance and recovery rate of macronutrients by ‘Gigante’ cactus pear under different fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 25, 82-89. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n2p82-89> > Acesso em 8 nov. 2021.

LIMA, A.G.; SALES, A.T.; ARAÚJO, J.S.; GOMES, V.S. **Palma forrageira no Semiárido: produção de mudas por facionamento da raquete**. Campina Grande – PB, INSA – Instituto Nacional do Semiárido, 2021, 36p.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, p.193-198, 1988.

MATOS, L.V.; DONATO, S.R.; KONDO, M.K.; LANI, J.L. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.2, p. 554-590, 2021.

NAVARRETE, M.C.L.; PENÃ, C.B.; TREJO, C.; CHACÓN, D.P.; GARCÍA, R. Interaction among species, time-of-day, and soil water potential on biochemical and physiological characteristics of cladodes of *Opuntia*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.162, p.185-195, 2021.

NUNES, V.X.; NUNES, N.X.; LONDE, L.N.; OLIVEIRA, C.G.; ROCHA, S.S.; Physico-chemical characterization of prickly pear (*Opuntia Ficus indica*) in the semi-arid region of Bahia State, Brazil. **Afr. J. Agric. Res.**, v.12 , n.51, p.3537–3541, 2017.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D. Metan: an R package for multi-environment trial analysis. **Methods Ecol Evol.**, v.11, p.783-789, 2020.

SILVA, T.G.F.; ARAÚJO PRIMO; J.T.; MORAIS, J.E.F.; DINIZ, W.J.S., SOUZA, C.A.A.; SILVA, M.C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Rev. Caatinga**, v. 28, p. 10–18, 2015.

SOARES, I.O.; BRUZI, A.T.; ZAMBIAZZI, E.V.; GUILHERME, S.R.; BIANCHI, M.C.; SILVA, K.B.; FRONZA, V.; TEIXEIRA, C.M. Stability and adaptability of soybean cultivars in Minas Gerais. **Genetics and Molecular Research** v.16, n.3, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019.

YAN, W.; KANG, M. S. **GGE Biplot analysis**: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. Boca Raton: CRC, 2003. 267p.

YAN, W. GGEbiplot: a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. **Agronomy Journal**, v.93, n.5, p. 1111-1118, 2001.

YÁÑEZ-RUIZ, D.R.; BELANCHE , A. **Plant secondary compounds: beneficial roles in sustainable ruminant nutrition and productivity**. Estación Experimental del Zaidín, Granada, Spain, 2021, 51p.

CAPÍTULO IV

COMPONENTES DA VARIÂNCIA GENÉTICA E ESTIMATIVA DE REPETIBILIDADE PARA AS CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA

RESUMO

Uma etapa fundamental nos programas de melhoramento genético é a identificação de genótipos superiores. Diante disto, o objetivo do trabalho foi selecionar genótipos de palma forrageira com base nos componentes de variância e repetibilidade das características de produção. Os ensaios foram conduzidos em 16 municípios do estado da Paraíba, entre os anos de 2013 e 2015. Foram utilizados os genótipos Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda. O delineamento experimental foi blocos casualizados com quatro repetições. Em cada experimento foram avaliadas as seguintes variáveis: número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódio e peso de massa seca por planta. Foram realizadas as análises de variância multivariada, com a combinação de ano e local, biplot para variáveis discriminantes canônicas, representando vetores de médias de genótipos por ano, com o propósito de discriminar os grupos de genótipos e a Máxima Verossimilhança Restrita (REML) para obter os componentes de variâncias genética e ambiental, além da repetibilidade. A análise de variância multivariada demonstrou haver diferença significativa entre os genótipos avaliados. Para a característica número de cladódios por planta, houve repetibilidade média no genótipo Miúda. A variação genética ($\hat{\sigma}_g^2$) foi maior que a variação ambiental ($\hat{\sigma}_E^2$) apenas na característica de peso médio de cladódios no genótipo Orelha de Elefante Mexicana, além da estimativa do coeficiente de repetibilidade ter sido considerada alta (0,73). Assim, o genótipo Orelha de Elefante Mexicana é um material superior para ser utilizado no programa de melhoramento.

Palavras – chave: *opuntia*; *nopalea*; melhoramento genético; análise multivariada.

ABSTRACT

A fundamental step in genetic improvement programs is the identification of superior genotypes. In view of this, the objective of this work was to select forage cactus genotypes based on the components of variance and repeatability of production traits. The trials were conducted in 16 municipalities in the state of Paraíba, between 2013 and 2015. The genotypes Orelha de Elefante Mexicana, Baiana and Miúda were used. The experimental design was randomized blocks with four replications. In each experiment, the following variables were evaluated: number of cladodes per plant, weight of green mass per plant, average cladode weight and dry weight per plant. Multivariate analyzes of variance were performed, with the combination of year and location, biplot for canonical discriminant variables, representing vectors of genotype means per year, with the purpose of discriminating the groups of genotypes and the Restricted Maximum Likelihood (REML) to obtain the components of genetic and environmental variances, in addition to repeatability. The multivariate analysis of variance showed a significant difference between the genotypes evaluated. For the characteristic number of cladodes per plant, there was average repeatability in the Miúda genotype. The genetic variation ($\hat{\sigma}_g^2$) was greater than the environmental variation ($\hat{\sigma}_E^2$) only in the average cladode weight trait in the Orelha de Elefante Mexicana genotype, in addition to the estimate of the repeatability coefficient being considered high (0, 73). Thus, the Orelha de Elefante Mexicana genotype is a superior material to be used in the breeding program.

Keywords: *opuntia*; *nopalea*; genetic improvement; multivariate analysis.

1 INTRODUÇÃO

A produção animal tem sido uma fonte de insumos para a agroindústria rural paraibana. Cerca de 76,7% da área total dos estabelecimentos de agricultora familiar têm como atividade principal a pecuária e/ou a criação de outros animais (IBGE/SIDRA, 2017) que aliada a uma boa fonte de alimento para o rebanho, é uma atividade viável que garante escala de produção e negócios rentáveis.

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é conhecida como “rainha das forrageiras” por ser rica em água, nutrientes e ter grande capacidade de adaptação a ambientes com déficit hídrico e temperaturas elevadas, além de ser uma excelente alternativa de alimentação para os animais. (FILHO, et al., 2021). Na Paraíba, a palma forrageira ocupa o primeiro lugar em culturas temporárias produzidas pela agricultura familiar nas Mesorregiões Borborema e Agreste, com valor da produção (mil reais) de R\$ 7.393,00 e R\$ 19.055,00, respectivamente (SANTOS, 2021).

Principalmente nos meses secos e grandes estiagens, a palma forrageira sempre foi considerada o refrigerio dos rebanhos. No entanto, à dizimação dos palmais de *Opuntia ficus-indica* pela Cochonilha-do-Carmim (*Dactylopius opuntiae*) acontece há mais de quinze anos. A alternativa tem sido o replantio de áreas com genótipos mais resistentes do gênero *Opuntia* como por exemplo Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw.) e subgênero *Nopalea*, Miúda e Baiana (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dick) (ARAÚJO, et al., 2019). A introdução de genótipos produtivos e resistentes ao ataque de pragas e doenças é de interesse dos produtores, que visam atender a demanda de alimento para o rebanho.

Deste modo, os programas de melhoramento da palma forrageira têm buscado conhecer e ampliar as bases genéticas dos seus bancos de germoplasma, principalmente dos materiais genéticos com elevado potencial produtivo e resistentes ao ataque de pragas e doenças, além de boa qualidade bromatológica. A utilização de ferramentas estatísticas que exponham o material genético, auxiliam no planejamento e na condução dos programas e seleção dos indivíduos que apresentem características desejáveis. (KUMAR et al., 2019).

Para identificar as características que estão mais associadas, as análises de componente principal (multivariadas) permitem o agrupamento de dados em uma matriz de covariância (JARDIM et al., 2020; BARBOSA et al., 2017; STEIDLE NETO et al., 2018). Sua principal vantagem é levar em consideração, simultaneamente, diversas variáveis. Além do mais, para palma forrageira, a utilização de componentes principais também tem sido utilizada para elucidar as diferenças entre as características de diferentes genótipos (GARCÍA-NAVA et al.,

2015; MOTTESE et al., 2018), inclusive para a avaliação de suas capacidades de produção (NEDER et al., 2013; REIS et al., 2018).

A metodologia de REML (Máxima Verossimilhança Restrita) é utilizada para estimar as variâncias genéticas e ambientais por meio de medidas repetidas de uma determinada característica no mesmo indivíduo, tornando a seleção de genótipos eficiente, com um menor tempo e custo de mão-de-obra. Também permite a estimação não viesada das variâncias genética e ambiental, possibilitando seleção e ganho genético em espécies perenes (RESENDE, 2007, RODRIGUES et al., 2013). Nesta metodologia, os componentes de variância não são influenciados pelos efeitos fixos do modelo e ponderados pelos graus de liberdade, proporcionando estimadores não viciados e fidedignos (RESENDE et al., 2014).

Para o estudo da palma forrageira, essa metodologia permitiu a identificação de materiais genéticos superiores e de características promissoras para o processo de seleção (PAIXÃO, 2012). Portanto, as estimativas de parâmetros genéticos associados as características avaliadas, pode auxiliar na discriminação dos genótipos avaliados em 16 municípios do Semiárido paraibano. O objetivo do trabalho foi selecionar genótipos superiores de palma forrageira com base nos componentes de variância e repetibilidade das características de produção.

2 METODOLOGIA

Área de estudo e implantação do experimento

Os ensaios foram realizados em 16 municípios do Semiárido Paraibano, entre os anos de 2013 e 2015. Cada área com 1 hectare, foi subdividida em dois campos experimentais para a coleta de dados no primeiro ano e ao final de dois anos. Os municípios pertencem a Mesorregião do Sertão Paraibano (Microrregiões, Cajazeiras, Piancó, Itaporanga e Serra do Teixeira), Mesorregião da Borborema (Microrregiões do Seridó Ocidental, Cariri Ocidental e Cariri Oriental); e as terras do Planalto da Borborema, conhecidas como Curimataú, representadas pela Microrregião do Curimataú Ocidental (Tabela 1).

Foi realizada limpeza das áreas, aração e gradagem. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições. O espaçamento foi o de 1,5×0,5×0,5 m em sistema de fileiras duplas, correspondente à uma densidade de 20.000 plantas ha⁻¹. Adubos orgânicos foram aplicados em todos os campos experimentais 60 dias após o plantio. Foram utilizados esterco bovino via solo na dosagem de 20,0 ton.ha⁻¹, ácido húmico no solo e

fúlvico via foliar na dosagem de 5 L.ha⁻¹, respectivamente. Ambos os ácidos foram diluídos em água na proporção de 1:100 (v:v). Localização, altitude e precipitação foram georreferenciadas e encontram-se na Tabela 1 e a caracterização individual dos atributos químicos e físicos do solo encontram-se na Tabela 2.

Material vegetal

Foram utilizados cladódios sementes de três genótipos de palma forrageira resistentes a Cochonilha-do-Carmim (*Dactylopius Opuntiae*) são eles, palma Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), Miúda e Baiana (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dick.).

Variáveis e análise estatística

Os dados foram coletados aos 12 e 24 meses após o plantio. Foram avaliados o número de cladódios por planta (NCP), obtido através da contagem total dos cladódios brotados, peso de massa verde (PMV) somatório do peso de todos os cladódios por planta em grama, peso médio de cladódio (PMC), obtido pela divisão de PMV por NCP, em grama e PMS (peso de massa seca por planta) obtido por meio de pré-secagem em ambiente aberto, seguida de secagem em estufa a 65°C até peso constante, que foi calculada multiplicando-se a PMV pelos teores de PMS e divididos por 100 (RODRIGUES, 2010).

Os dados foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA), aplicando a estatística de Pillai. Foi construído um biplot para variáveis discriminantes canônicas representando vetores de médias de genótipos por ano. As estimativas de componentes de variância e respectivos intervalos de 95% de confiança das características foram feitas por REML, a partir da distribuição normal.

O procedimento REML requer que o vetor de dados Y tenha distribuição normal multivariada. Entretanto, vários autores relatam que os estimadores REML são também apropriados quando não se verifica normalidade dos dados (HARVILLE, 1977; MEYER, 1989). O método REML maximiza a função de verossimilhança conjunta de todos os contrastes de erros ou resíduos, $Y^* = L^T Y$, em que L é uma matriz com $[n - \text{posto}(X)]$ colunas, de posto completo, com colunas ortogonais às colunas da matriz X , isto é, $L^T X = 0$.

Os intervalos de $(1 - \alpha)$ 100% de confiança (IC) relacionados aos componentes de variância ($\hat{\sigma}_i^2$) foram calculados aplicando o método delta (GBUR et al., 2012) em que estas estimativas são linearizadas por meio da função logarítmica (log) e possuem distribuição normal assintótica, e o IC na escala original da variável resposta é dado por:

$$IC(\hat{\sigma}_i^2) = \exp\left(\log(\hat{\sigma}_i^2) \pm z_{1-\alpha/2} \hat{\sigma}_i^{-2} \sqrt{\widehat{Var}(\hat{\sigma}_i^2)}\right)$$

A repetibilidade foi calculada através da correlação intraclasse, que consiste em, dividir o componente de variância genética pela soma da variância genética e ambiental (residual). Todas as análises foram realizadas com software R (R Core Team, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

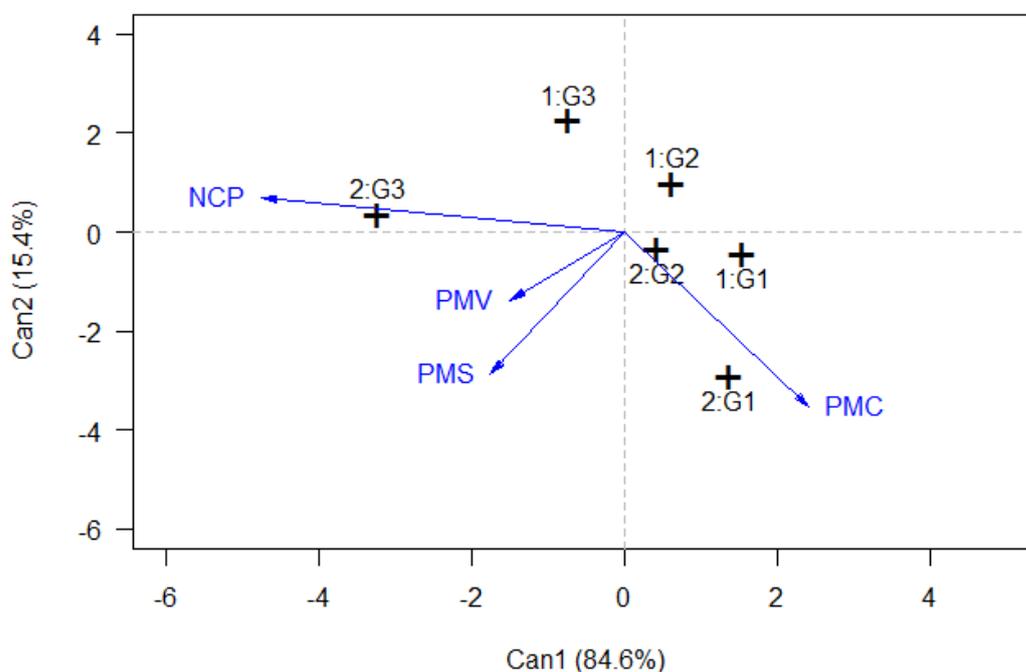
Os resultados obtidos por meio da análise de variância multivariada (MANOVA), evidenciaram que os genótipos diferem significativamente ($p < 0,01$) de todas as fontes de variação, havendo interação GxA (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância multivariada de três genótipos de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda) para características de produção avaliadas em dezesseis municípios do Semiárido Paraíba por dois anos de cultivo

FV	GL	Pillai	F	Num	Den	P valor
Ambiente	31	2.4469	24.40	124	17660	< 0,01
Genótipo	2	0.93268	964.08	8	8826	< 0,01
Bloco dentro de ambiente	96	0.53231	7.06	384	17660	< 0,01
Ambiente x Genótipo	62	0.99322	23.52	248	17660	< 0,01
Resíduo	192					

Para verificar quais são as divergências genéticas, a dispersão gráfica bidimensional para as variáveis discriminantes canônicas, representando vetores de médias de genótipos por ano, foram utilizadas para apontar as variáveis mais preponderantes deste estudo. (Figura 1). Constatou-se que a primeira variável canônica (Can1) explicou 84,6% da variação total, principalmente devido a variação no número de cladódios. Além disso, nesse gráfico é possível avaliar a dimensão entre os genótipos, anos e as características avaliadas.

Figura 1 – Biplot para variáveis discriminantes canônicas representando vetores de médias de genótipos G1 = Orelha de Elefante Mexicana, G2 = Baiana e G3 = Miúda de 3 genótipos, por ano obtidas a partir de 4 características morfoagronômicas dos genótipos de palma forrageira.



NCP = número cladódios totais; PMV = peso de massa verde por planta; PMC = peso média da massa dos cladódios, PMS = peso de massa seca por planta

O genótipo Miúda, à esquerda de Can1, é mais responsivo à produção de novos cladódios, ou seja, número de cladódios por planta de forma que essa característica, dentre as avaliadas, é uma das mais importantes para o genótipo Miúda. O número de cladódios por planta é uma característica intrínseca ao genótipo Miúda. Nele, quanto mais cladódios a planta têm, maior é o aparecimento de novos cladódios, pois cada unidade que emerge representa um potencial adicional para o aparecimento de novos cladódios (BARBOSA et al., 2018). O número de cladódios por planta pode aumentar de 10 para até 30 unidades, a depender do ambiente que o genótipo esteja inserido. Ele expressa seu máximo desempenho em ambientes com chuvas médias de 400 mm por ano e temperatura mínima de 18 °C e máxima de 30,6 °C (dados não mostrados).

Para PINHEIRO et al., (2014), avaliando os genótipos Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e Bainana, concluiu que o número total de cladódios por planta e a área do cladódio explicam melhor a variabilidade do rendimento entre eles. A característica morfológica área dos cladódios (comprimento, espessura e largura dos cladódios) está relacionada com o maior tamanho dos cladódios e influenciam no seu rendimento.

O genótipo Orelha de Elefante Mexicana além da maior área de cladódio, é tetraplóide e devido ao “efeito gigas”, tem órgãos maiores que os diplóides, genótipos Miúda e Baiana. Em ambientes com volumes de chuva menores que 220 mm por ano, o genótipo Orelha de Elefante Mexicana mostra-se superior em relação aos demais, com incremento de até 60% de massa verde (dados não mostrados), além de ser eficiente no uso da água, característica fisiológica que está diretamente relacionada com seu maior rendimento (SILVA, 2019), pois são espécies que acumulam água no interior dos cladódios.

As características morfológicas, fisiológicas e genéticas, além da influência dos fatores abióticos, como as condições climáticas e composição química e física do solo, influenciam diretamente no rendimento da palma forrageira. Entender como estas características se relacionam, facilita a escolha de genótipos nos programas de melhoramento genético, principalmente de matérias que são resistentes à pragas e doenças. A combinação das melhores estratégias de seleção permite aumentar a produção dos genótipos. Uma forma de se obter informações a respeito do controle genético das características é por meio de variâncias genéticas e ambientais. Outra estratégia que pode ser utilizada na escolha dos genótipos é utilizar medições repetidas de um mesmo indivíduo ao longo do tempo, a fim de obter estimativas mais precisas e que auxiliem os melhoristas na tomada de decisões, principalmente durante o processo de seleção.

Na Tabela 2 é possível verificar as variâncias ambientais, abrangem todas as variações de origem não genética e as variâncias genéticas. A magnitude da variância genética (σ_g^2) foi superior à variância ambiental (σ_E^2) apenas para a característica peso médio de cladódio. Para as demais características a variação ambiental foi maior.

Tabela 2 – Componentes de variâncias genética (σ_g^2) e variâncias ambiental (σ_E^2) e estimativas de repetibilidade (r)

Variável	Variância genética		Variância ambiental		Repetibilidade
	$\hat{\sigma}_g^2$	IC95%	$\hat{\sigma}_E^2$	IC95%	r (E.P.)
NCP	31.64	4.45 - 225.13	46.18	44.32 - 48.11	0.41 (0.24)
PMV	94113.7	12701.2 - 697365.8	3079671	2956005 - 3208511	0.03 (0.03)
PMC	31813.5	4467.5 - 226546.2	11714.4	11244 - 12204.5	0.73 (0.20)
PMS	1747.8	201.33-12174.04	22954.5	19793.5-26620.3	0.07 (0.07)

NCP = número cladódios totais; PMV = peso de massa verde por planta; PMC = peso média da massa dos cladódios, PMS = peso de massa seca por planta

A característica peso médio de cladódio está relacionada ao genótipo Orelha de Elefante Mexicana (Figura 1). Dentre ss características morfológicas que contribuem para o peso dos

cladódios estão a área e espessura (PINHEIRO et al., 2014), sendo utilizadas para avaliação da capacidade fotossintetizante da cultura, que depende do genótipo, mas também varia em função condições ambientais. Assim, quanto maior for sua espessura, maior será a capacidade de armazenamento de água e desempenho produtivo. AMORIN (2011) relata que os cladódios tendem a aumentar seu espessamento devido ao peso das ordens subsequentes e que os cladódios primários e secundários no gênero *Opuntia* são mais pesados que os do subgênero *Nopalea*. Além disso, em condições de baixa disponibilidade hídrica, o genótipo Orelha de Elefante Mexicana é muito promissor para programas de melhoramento genético (FERREIRA, 2018).

Para realizar seleção em espécies perenes, sobretudo para características de produção, é importante reduzir os custos de condução e manutenção das áreas de cultivo. Utilizando a metodologia REML, é possível abreviar esse tempo via uso de várias medições em cada planta, sem a necessidade de utilizar progênies (RESENDE, 2002), além de ser uma ótima metodologia de estimação de componentes de variância, seja utilizando dados desbalanceados ou não (RESENDE e ALVES, 2021).

As características número de cladódios por planta, peso de massa verde por planta, peso médio de cladódio e peso de massa seca por planta, apresentaram estimativas de repetibilidade que variaram de 0.03 a 0.73. Para a característica número de cladódios por planta a estimativa foi de 0.41, considerado de média magnitude e de 0.73 para peso médio de cladódio, considerado de alta magnitude, tornando evidente a regularidade média na repetição desta última característica de um ano para outro.

CRUZ et al., (2012) propôs uma classificação para o coeficiente de repetibilidade: alta ($r \geq 0,60$); média ($0,30 < r < 0,60$) e baixa ($r \leq 0,30$), de modo que quando o valor da repetibilidade for alto, utiliza-se um número relativamente pequeno de medições. Quando a repetibilidade é baixa, um grande número de repetições será necessário para que se alcance um valor de determinação satisfatório.

PAIXÃO (2012), avaliando genótipos de palma forrageira com a metodologia REML, evidenciou que as estimativas de herdabilidade, no sentido amplo, são elevadas para a característica comprimento do cladódio, evidenciando o bom controle genético e a possibilidade de avanços genéticos expressivos com a seleção. Outra característica importante é a área do cladódio, influenciada pelo comprimento, que também explica a variabilidade do rendimento dos genótipos de palma forrageira (PINHEIRO et al., 2014). Neste trabalho, a característica peso médio de cladódios é resultado da influência dessas duas características. A

maior área de cladódio, no genótipo Orelha de Elefante Mexicana, é resultado de órgãos maiores e da maior capacidade de armazenamento, decorrente da sua constituição genética e fisiológica, relacionadas a poliploidia (SILVA, 2019). O peso médio de cladódio do genótipo Orelha de Elefante Mexicana é de 3 a 5x mais que no genótipo Miúda, independente do ambiente avaliado (dados não mostrados).

É possível observar que no genótipo Orelha de Elefante Mexicana, na característica de peso médio dos cladódios a variação genética foi maior que ambiental e isso pode ser decorrente da maior diferença genética entre os gêneros *Opuntia* e subgênero *Nopalea*, indicando que, possivelmente, os ganhos preditos poderão ser relativamente maiores no genótipo Orelha de Elefante Mexicana, por estar mais relacionado com esta característica. Além disso, as estimativas de repetibilidade dão maior segurança para escolha desta variável nas etapas de seleção (Tabela 2).

A repetibilidade estima o valor máximo que a herdabilidade pode atingir, expressando a proporção da variância fenotípica que é atribuída às diferenças genéticas, confundidas com os efeitos permanentes que atuam no genótipo (FERREIRA et al., 2010), ou seja, uma ferramenta indispensável para auxiliar no processo de seleção realizado pelo melhorista. Estima-se que o melhoramento genético pode aumentar substancialmente a produtividade da cultura da palma forrageira com lançamentos de novas cultivares e incrementos de até 300% na produção (LIRA et al., 2006), além de contribuir na busca por materiais genéticos resistentes ao ataque de pragas e maior resistências às doenças.

Para palma forrageira, as etapas do programa de melhoramento começam pelo plantio dos cladódios, hibridação controlada ou polinização livre e obtenção de sementes e seu semio. Desta forma, existirá variação genética e possibilidade de selecionar novos materiais. Após esta etapa, o material deve ser novamente propagado assexuadamente. No melhoramento desta forrageira, a forma de propagação assexual é uma das vias de reprodução que representa maior vantagem para multiplicação do material genético. Nas últimas décadas, os programas têm concentrado esforços na liberação da variabilidade genética por meio de cruzamentos seguido da seleção dos clones gerados.

Sendo plantas de reprodução sexuada e principalmente assexuada, em qualquer fase do programa de melhoramento os genótipos que apresentam características favoráveis, sejam elas qualitativas ou quantitativas, podem ser fixadas geneticamente por meio da multiplicação e fracionamento dos cladódios em larga escala, economizando tempo e insumos.

Não há evidências de cruzamento entre as *Nopaleas* e *Opuntias*. Sobre a hibridação (fusão de gametas geneticamente diferentes) é importante salientar que é possível obter novas combinações e ampliação da base genética da cultura. A poliploidia é favorecida pela hibridação. O genótipo Orelha de Elefante Mexicana é um tetraplóide ($2n=44$) e os genótipos Miúda e Baina são diplóides ($2n=22$) (SILVA, 2019). Por ser um material genético superior, uma maneira de seguir com o melhoramento do genótipo Orelha de Elefante Mexicana, por exemplo, pode ser através da indução de poliploidia *in vitro*.

A poliploidia está relacionada ao efeito “gigas” nas células, tecidos e órgãos da planta, causando o gigantismo (TE BEEST et al., 2012; YILDIZ, 2013). Assim, induzir poliploidia *in vitro* em *Opuntias* tetraplóides pode ampliar a variabilidade genética, permitir a hibridação sexual e aumentar a produtividade dos indivíduos poliploides, além de auxiliar na busca por materiais mais resistentes ao ataque de pragas e doenças. De acordo com os resultados de SILVA (2019), apesar do genótipo Orelha de Elefante Mexicana ser resistente à Cochonilha-do-carmim, ele é susceptível à Cochonilha de escamas.

Por ser a principal xerófila cultivada no Brasil, desenvolver programas de melhoramento genético voltado para ela é de extrema relevância e urgência (COSTA et al., 2021). Seu cultivo no Semiárido paraibano representa uma atividade pecuária com maior segurança produtiva e geração de renda para os agricultores de pequeno e médio porte, especialmente na época de estiagem.

Assim, o resultado das ações desenvolvidas dentro dos programas e instituições deve ser partilhado nos sistemas de produção da agricultura familiar, mobilizando produtores para a convivência com o Semiárido, principalmente diante da previsão de mudanças climáticas para as próximas décadas. De modo geral, por ser uma cultura adaptada a temperaturas elevadas e déficit hídrico, a exploração do potencial produtivo da palma forrageira será ainda maior, principalmente pelo conhecimento dos genótipos e também dos acessos conservados nos bancos de germoplasma. Assim, dispersar os genótipos com os melhores resultados produtivos no Semiárido é uma estratégia que permitirá rendimentos expressivos, pois apesar da grande quantidade de estudos sobre a palma forrageira, as informações basicamente são sobre manejo da cultura e uso na alimentação animal. Informações referentes a temas como recursos genéticos e melhoramento vegetal, ainda são restritas (COSTA et al., 2021).

4 CONCLUSÃO

Para a característica número de cladódios por planta, houve uma repetibilidade média no genótipo Miúda. A variação genética ($\hat{\sigma}_g^2$) foi maior que a variação ambiental ($\hat{\sigma}_E^2$) apenas na característica de peso médio de cladódios no genótipo Orelha de Elefante Mexicana. A estimativa do coeficiente de repetibilidade da característica peso médio de cladódio foi de 0.73, considerada alta. Assim, o genótipo Orelha de Elefante Mexicana é um material superior para ser utilizado no programa de melhoramento.

REFERÊNCIAS

- RESENDE e ALVES, O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento, 2021, 171-202. Embrapa Florestas
- AMORIM, S.O. Características morfológicas e produtivas da palma forrageira cv. orelha de elefante mexicana submetida a diferentes densidades de plantio e intensidades de corte no semiárido pernambucano. Dissertação (Zootecnia). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.
- COSTA ET AL. Conservação e Uso de Germoplasma dos BAG do Instituto Agrônomo de Pernambuco: Forrageiras e Fruteiras Nativas/Exóticas. **Revista de Recursos Genéticos**, v. 7 n.1, p. 1-11, 2021
- BARBOSA, M.L. SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S.M.S.; ARAÚJO JÚNIOR, G.N.; JARDIM, A.M.R. The influence of cladode morphology on the canopy formation of forage cactus plants. **Rev. Caatinga**, v.31, n.1, p.180-190, 2018.
- FERREIRA, R.P.; VASCONCELOS, E.S.; CRUZ, C.D.; JUNIOR, W.D.; RASSINI, J.R.; FREITAS, A.R.; VIELA, D.; MOREIRA, S. Determinação do coeficiente de repetibilidade e estabilização genotípica das características agrônômicas avaliadas em genótipos de alfafa no ano de estabelecimento. **Ceres**, v.55, n.5, p.1-6, 2010.
- FILHO, R.R.R.; SANTOS, D.C.; VÉRAS, A.S.C.; SIQUEIRA, M.C.B.; NOVAES, L.P.; MORA-LUNA, R.; MONTEIRO, C.F.M. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas? **Journal of Arid Environments**, v.186, p.1-8, 2021.
- KUMAR, S.; KIRK, C.; DENG, C.H., SHIRTLIFF, A.; WIEDOW, C.; QIN, M. Marker-trait Associations and Genomic Predictions of Interspecific Pear (Pyrus) Fruit Characteristics. **Sci. Rep.**, v.9, p. 1–10, 2019.
- GARCÍA-NAVA, F.; PEÑA-VALDIVIA, C.B.; TREJO, C.; GARCÍA-NAVA, R.; REYES-AGUERO, J.A.; RIVERA, J.R.A. Biophysical and physiological characteristics of nopalitos (*Opuntia* spp., Cactaceae) as influenced by domestication. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.62, p.927-938, 2015.

GBRUR, E.E.; STROUP, W.W.; McCARTER, K.S.; DURHAM, S.; YOUNG, L.J.; CHRISTMAN, M. WEST, M.; KRAMER, M. **Analysis of Generalized Linear Mixed Models in the Agricultural and Natural Resources Sciences**. Madison, WI: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Crop Science Society of America. 2012, 298p.

HARVILLE, D.A. Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems. **Journal of the American Statistics Association**, v.72, p.320-328, 1977.

IBGE/SIDRA. Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censoagropecuario-2017>. Acesso em: 20 fev. 2021.

JARDIM, A.M.da.R.F.; SILVA, T.G.F.; SOUZA, L.S.B.; SOUZA, M.S.; MORAIS, J.E.F.; ARAÚJO JUNIOR, G.N. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. **Rev. bras. eng. agríc. Ambiente**, v.24, n.11, p.1-6, 2020.

LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JR., J.C.B. et al. Sistemas de produção de forragem: alternativas para a sustentabilidade da produção. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2006, João Pessoa. **Anais**. João Pessoa: SBZ, p. 491-511, 2006.

MOTTESE, A.F.; NACCARI, C.; VADALÀ, R.; BUA, G.D.; BARTOLOMEO, G.; RANDO, R.; CICERO, N.; DUGO, G. Traceability of *Opuntia ficus-indica* L. Miller by ICP-MS multi-element profile and chemometric approach. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.98, p.198-204, 2018.

MEYER, K. Restricted maximum likelihood to estimate variance components for animal models with several random effects using a derivative-free algorithm. **Genetique, Selection, Evolution**, v.21, p.317-340, 1989.

NEDER, D.G.; COSTA, F.R.; EDVAN, R.L.; SOUTO FILHO, L.T. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, n.3, p.203- 207, 2013.

PAIXÃO, S.L.; LIRA, M.A.; MEL, A.C.L.; SANTOS, D.C.; FERRASMI; CAVALCANTE, M. LIRA. Estimativas de Parâmetros Genéticos em Clones de Palma Forrageira no Município de São Bento do Uma. **Rer. Cient. Prod. Animal**, v.13, n.1, p.28-32, 2011.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; SOUSA CARVALHO, H.F.; 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. **Pesq Agrop Bras**, v. 49, p. 939-947, 2014.

SANTOS, E. A. **Um novo retrato da agricultura familiar do estado da 2021 Paraíba** [recurso eletrônico]: a partir dos dados do censo agropecuário 2017. Viçosa, MG : IPPDS, UFV, 2021. 1 livro eletrônico

SILVA, R.T.S. **Trocas gasosas, caracterização, citogenética e vigor de sementes dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea***. 115f, 2019. (Tese de doutorado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba. UFPB, Areia, PB.

STEIDLE NETO, A.J.; LOPES, D.C.; TOLEDO, J.V.; ZOLNIER, S.; SILVA, T.G.F. Classification of sugarcane varieties using visible/near infrared spectral reflectance of stalks and multivariate methods. **Journal of Agricultural Science**, v.156, p.1-10, 2018.

R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019.

REIS, C.M.G.; GAZARINI, L.C.; FONSECA, T.F.; RIBEIRO, M.M. Aboveground biomass estimation of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. for forage crop in a Mediterranean environment by using nondestructive methods. **Experimental Agriculture**, v.54, p.227-242, 2018.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 362p.

RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; BARBOSA, D.H.; SOUZA FILHO, G.R.; CANDIDO, L.S. Adaptability and genotypic stability of *Coffea arabica* genotypes based on REML/BLUP analysis. **Genetics and Molecular Research**, v.12, n.3, p.2391-2399, 2013.