



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

JOÃO PAULO DE OLIVEIRA SANTOS

**ASPECTOS MORFOLÓGICOS, FISIOLÓGICOS E PRODUTIVOS DE ACESSOS
DE *Opuntia* spp. COM RESISTÊNCIA À *Dactylopius opuntiae*, NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

AREIA

2023

JOÃO PAULO DE OLIVEIRA SANTOS

**ASPECTOS MORFOLÓGICOS, FISIOLÓGICOS E PRODUTIVOS DE ACESSOS
DE *Opuntia* spp. COM RESISTÊNCIA À *Dactylopius opuntiae*, NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Agronomia Tropical.

Linha de Pesquisa: Ecologia, Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque

Coorientador: Dr. Isaias Vitorino Batista de Almeida

AREIA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catálogo e Classificação

S237a Santos, João Paulo de Oliveira.

Aspectos morfológicos, fisiológicos e produtivos de acessos de *Opuntia* spp. com resistência à *Dactylopius opuntiae*, no semiárido brasileiro / João Paulo de Oliveira Santos. - Areia, 2023.

95 f. : il.

Orientação: Manoel Bandeira de Albuquerque.

Coorientação: Isaias Vitorino Batista de Almeida.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Cactaceae. 3. Eficiência do uso da água. 4. Pigmentos. 5. Trocas gasosas. I. Albuquerque, Manoel Bandeira de. II. Almeida, Isaias Vitorino Batista de. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

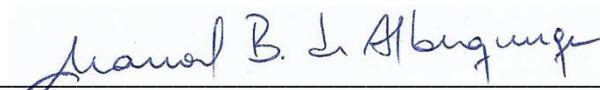
JOÃO PAULO DE OLIVEIRA SANTOS

**ASPECTOS MORFOLÓGICOS, FISIOLÓGICOS E PRODUTIVOS DE ACESSOS
DE *Opuntia* spp. COM RESISTÊNCIA À *Dactylopius opuntiae*, NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Agronomia Tropical. Linha de Pesquisa: Ecologia, Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Aprovado em: 30/01/2023

BANCA EXAMINADORA



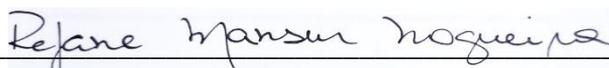
Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Djail Santos – Avaliador Interno
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Daniel Duarte Pereira – Avaliador Externo
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Profa. Dra. Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira – Avaliadora Externa
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)

À minha mãe, Claudenice de Oliveira Santos, e meu pai, José Cícero da Costa Santos, pelos ensinamentos para minha formação pessoal e profissional.

A meu avô, Gracindo João dos Santos (in memoriam) por ter sido um exemplo de retidão, caráter e honestidade.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por Ter me dado saúde e força para superar as dificuldades e chegar a esse momento ímpar em minhas vidas pessoal e profissional.

Aos meus pais José Cícero e Claudenice, por serem sempre a minha base e referência. Ao meu irmão Jobson Bruno pelo companheirismo e cumplicidade.

À toda minha família pela atenção, presteza e ensinamentos transmitidos. Agradeço ainda pelo apoio durante toda essa jornada acadêmica e por compreenderem meus momentos de ausência.

À minha tia Elisângela que me iniciou no mundo das letras e números. Minha primeira Professora.

Aos amigos que construí em Dois Riachos - AL, pessoas de imensuráveis qualidades.

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de conviver em um ambiente único, com uma estrutura e profissionais que me capacitaram para enfrentar o mundo. Agradeço também a oportunidade de viver em um ambiente complexo, político e heterogêneo no campo das concepções e ideias. Sem dúvida, essa atmosfera forja indivíduos aptos a enfrentar qualquer situação cotidiana e conviver com as mais diferentes pessoas.

Ao Professor Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque, pela confiança, paciência, conselhos e contribuições para esse trabalho, o meu profundo e eterno agradecimento.

Ao Dr. Isaias Vitorino Batista de Almeida por, desde o início, ter se colocado à disposição para a realização desse trabalho. Sou extremamente grato pelos valorosos ensinamentos, disponibilidade e contribuições essenciais e ímpares.

A Mateus Batista por ter sido uma peça fundamental para a construção desta Tese auxiliando desde quando trabalhar com *Opuntia* era apenas uma ideia distante. Sua disponibilidade, dedicação e ‘expertise’ foram imprescindíveis para que esse trabalho pudesse se tornar realidade.

A Leonardo Torreão Villarim de Medeiros, por juntamente com Isaias Vitorino, ter disponibilizado a estrutura da Estação Experimental de Pendência (EMPAER – PB) para a condução dessa pesquisa. Agradeço a Junior, Gerônimo, Edivan, Haroldo, Robério e todos os funcionários da Estação de Pendência, pessoas que contribuíram de forma significativa na parte de campo desse experimento.

A Mirandy Dias e Francisco de Assis, pela contribuição nas análises laboratoriais. A Thyago Aires e João Everthon Ribeiro, pela disponibilidade em realizar as análises de trocas gasosas.

Ao Instituto Nacional do Semiárido por disponibilizar o IRGA.

A Rayan Araújo, peça importante nessa pesquisa, que desde o início se prontificou a contribuir na montagem, manutenção e condução do experimento, por vezes indo de Gado Bravo para Soledade no intuito de participar e contribuir com esse trabalho. Minha eterna gratidão por seu empenho e disponibilidade.

A João Henrique Barbosa, grande parceiro na coleta de dados, presença confirmada nas avaliações e sempre disposto a contribuir para o sucesso desta pesquisa. A Arthur Tejo e Silvio Lisboa, pelas valiosas contribuições na coleta de dados deste experimento. Minha gratidão a vocês dois, João Henrique, Rayan e Mateus, que juntos levamos sol, chuva e espinhos.

Ao Professor Dr. Walter Esfrain, por suas contribuições nas análises estatísticas desse trabalho.

Ao Professor Dr. Daniel Duarte Pereira, por seus ensinamentos e ser fonte de inspiração em busca de um Semiárido produtivo e justo.

Aos amigos do PPGAgro, em especial Valéria Fernandes, Adriana Santos, José Manoel, Albert Einstein, Adjair Silva, Fernando Antônio, Beatriz Torres, Pricilla Borges, Khyson Abreu, Heloísa Martins, Letícia Lacerda, entre outros, pelos bons momentos compartilhados, essenciais para que essa caminhada se tornasse mais leve.

Aos amigos que Areia me proporcionou: Thais Vitorino, Anderson Dantas, Cristiane Marques, Vanderléia, Rafael, entre tantos outros. Amigos de apartamento: Paulo Henrique Cartaxo, por sua cumplicidade, bom coração, presteza, espírito nobre e toda ajuda nesses anos de convivência; Kennedy Gonzaga, que desde a graduação compartilha os bons momentos e sua amizade; Rayan Araújo, por além das contribuições acadêmicas ser um jovem iluminado, proativo, leal e sempre disposto a ajudar. Aos amigos do Curso Técnico em Agropecuária (IFAL) e da Graduação em Agronomia (UFPB) que, mesmo depois de tanto tempo, continuam a fazer parte dos momentos importantes da minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a todos os seus Professores.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Aos membros da Banca Examinadora de Exame de Qualificação e de Tese pelo aceite do convite e valiosas contribuições essenciais para a finalização desse trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a finalização desta etapa.

MUITO OBRIGADO!

“O sertanejo é, antes de tudo, um forte.” (Euclides da
Cunha).

RESUMO GERAL

Opuntia é um dos mais importantes gêneros de Cactaceae, destacando-se pelo potencial de produção de verdura, frutos para alimentação humana e fins forrageiros de muitas de suas espécies. No Brasil, a introdução da falsa cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* em áreas produtoras de algumas espécies de *Opuntia*, em especial a *O. ficus-indica*, gerou graves perdas produtivas, o que resultou na necessidade da busca e introdução de variedades com resistência a essa praga. Nesse sentido, esse estudo foi dividido em três capítulos. No Capítulo I, se buscou avaliar o desempenho inicial de 15 acessos de *Opuntia* com resistência a *D. opuntiae* quanto aos aspectos morfológicos, fisiológicos e produtivos, realizando assim a seleção precoce de materiais com características superiores. No Capítulo II, se objetivou realizar as caracterizações morfológica e produtiva desses acessos decorridos 365 dias após o plantio (DAP). Já no Capítulo III, se objetivou analisar os aspectos fisiológicos e a produção de matéria seca desses acessos também aos 365 DAP. O experimento foi conduzido em condições de campo na Estação Experimental de Pendência, pertencente a Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), localizada no município de Soledade, Paraíba. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e posterior teste de médias. Análises de Componentes Principais (ACP) também foram utilizadas. Os resultados demonstraram que aos 180 após o plantio já é possível identificar acessos de *Opuntia* com características superiores, como os acessos 48, 49, 75, 91 e 100, que alcançaram produção de matéria fresca superior a 40 t ha⁻¹. Aos 365 DAP, a ACP evidenciou que os caracteres morfológicos, como altura e largura de plantas, bem como a área de cladódio e IAC, são diretamente relacionados com maior produção de matéria verde, que foi superior a 108 t ha⁻¹ nos acessos 48, 49, 75, 91 e 100. Ainda, para os aspectos fisiológicos, a ACP demonstrou que para os acessos em estudo, uma maior concentração de pigmentos está relacionada com maiores taxas de captação de CO₂, maior eficiência instantânea do uso da água e, por conseguinte, maior produtividade de matéria seca.

Palavras-Chave: Cactaceae; eficiência do uso da água; pigmentos; trocas gasosas.

GENERAL ABSTRACT

Opuntia is one of the most important genera of Cactaceae, standing out for its potential for producing vegetables and fruits for human consumption, and foraging purposes of many of its species. In Brazil, the introduction of the false carmine cochineal (*Dactylopius opuntiae*) in areas producing some species of this genus, caused serious production losses, which resulted in the need to search for and introduce varieties with resistance to this pest. In this sense, this study was divided into 3 chapters. In chapter I, we sought to evaluate the initial performance of 15 accessions of *Opuntia* with resistance to *D. opuntiae* in terms of morphological, physiological and productive aspects, thus seeking the early selection of materials with superior characteristics. In chapter II, the objective was to carry out the morphological and productive characterization of these accessions 365 days after planting (DAP). In chapter III, the objective was to analyze the physiological aspects and the dry matter production of these accessions also at 365 DAP. The experiment was carried out under field conditions at the Experimental Station of Pendência, belonging to the Empresa Paraibana de Pesquisa, Rural Extension and Land Regularization, in the municipality of Soledade, Paraíba. The results obtained were submitted to analysis of variance and subsequent test of means. Principal component analyzes (PCA) were also used. The results showed that 180 days after planting, it is already possible to identify *Opuntia* accessions with superior characteristics, such as accessions 48, 49, 75, 91 and 100, which reached fresh matter production greater than 40 t ha⁻¹. At 365 DAP, the PCA showed that morphological characters, such as height and width of plants, as well as cladode area and IAC, are directly related to greater production of green matter, which was greater than 108 t ha⁻¹ in accessions 48, 49, 75, 91 and 100. Still, for the physiological aspects, the PCA showed that for the accessions under study, a higher concentration of pigments is related to higher rates of CO₂ uptake, greater instantaneous efficiency of water use and, therefore, higher dry matter productivity.

Keywords: Cactaceae; efficiency of water use; pigments; gas exchange.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 – Acessos recém plantados (A), acessos um mês após o plantio (B), detalhe do sistema de irrigação (C) e acesso 49 aos 180 dias após o plantio (D)..... 35
- Figura 2 – Altura (A), largura (B), número de cladódios (C) e índice de área de cladódios (IAC)(D) de acessos de *Opuntia* aos 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022. 38
- Figura 3 – Sobrevivência (A), biomassa fresca de cladódio (BFC) (B) e estimativa da produtividade de matéria fresca (PMF) (C) de acessos de *Opuntia* aos 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022..... 39
- Figura 4 – Taxa de captação de CO₂ (A), concentração interna de CO₂ (Ci)(B), condutância estomática (gs)(C) e transpiração (E) (D) de acessos de *Opuntia* aos 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022..... 40
- Figura 5 – Eficiência instantânea de uso da água (EUA)(A), eficiência intrínseca do uso de água (EiUA)(B) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC)(C) de acessos de *Opuntia* aos 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022. 41
- Figura 6 – Dispersão gráfica biplot de 15 acessos de *Opuntia* baseada em escores de 14 caracteres de crescimento, produtividade e trocas gasosas, representados pelos dois primeiros componentes principais. 42

CAPÍTULO II

- Figura 1 – Acessos recém-plantados (A), destaque da bordadura de contorno da área experimental (B), sistema de irrigação suplementar (C) e floração do acesso 49 (D). 55
- Figura 2 – Altura de plantas (A), largura de plantas (B), largura de cladódio (C), comprimento de cladódio (D) espessura de cladódio (D) e área de cladódio (F) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022..... 58
- Figura 3 – Número de cladódios primários (NCP)(A), secundários (NCS)(B), terciários (NCT)(C) e quaternários (NCQ)(D), número total de cladódios (NTC)(E) e peso do cladódio (F) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022..... 60
- Figura 4 – Número de aréolas (A), número de espinhos (B), índice de área de cladódio (IAC)(C) e produtividade de matéria verde (PMV)(D), acúmulo de água nas plantas (ACA)(E) e eficiência do uso da água (EUA)(F) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022. 62
- Figura 5 – Dispersão gráfica biplot de 15 acessos de *Opuntia* baseada em escores de 18 caracteres de morfologia e produtividade, representados pelos dois primeiros componentes principais. 63

CAPÍTULO III

Figura 1 – Acessos recém-plantados (A), destaque da bordadura de contorno da área experimental (B), sistema de irrigação suplementar (C) e detalhe do experimento aos 365 dias após o plantio (D).	77
Figura 2 – Precipitação pluviométrica na área de estudo durante o período experimental (03/2021-03/2022).	78
Figura 3 – Taxa de captação de CO ₂ (A)(A), transpiração (E)(B), concentração interna de CO ₂ (Ci)(C) e condutância estomática (gs)(D) de acessos de <i>Opuntia</i> com resistência à <i>Dactylopius opuntiae</i> , decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.	80
Figura 4 – Eficiência instantânea de uso da água (EUA)(A), eficiência intrínseca do uso de água (EiUA)(B) e eficiência instantânea de carboxilação (EiCi)(C) de acessos de <i>Opuntia</i> com resistência à <i>Dactylopius opuntiae</i> , decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.	81
Figura 5 – Clorofila <i>a</i> (A), <i>b</i> (B) e total (C), e relação clorofila <i>a/b</i> (D) de acessos de <i>Opuntia</i> com resistência à <i>Dactylopius opuntiae</i> , decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.	82
Figura 6 – Carotenoides (A), massa seca (B) e produtividade de matéria seca (C) de acessos de <i>Opuntia</i> com resistência à <i>Dactylopius opuntiae</i> , decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.	83
Figura 7 – Dispersão gráfica biplot de 15 acessos de <i>Opuntia</i> baseada em escores de 14 caracteres de fisiologia e produtividade, representados pelos dois primeiros componentes principais.	84

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Acessos de *Opuntia* utilizados no estudo, pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG), da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, Soledade, Paraíba, Brasil. 34

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Acessos de *Opuntia* utilizados no estudo, pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG), da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, Soledade, Paraíba, Brasil. 54

CAPÍTULO III

Tabela 1 – Acessos de *Opuntia* utilizados no estudo, pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG), da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, Soledade, Paraíba, Brasil. 76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	15
	REFERÊNCIAS	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	<i>Opuntia</i>	19
2.2	<i>Dactylopius opuntiae</i>	21
2.3	Variedades Resistentes	23
	REFERÊNCIAS	25
	SELEÇÃO DE ACESSOS DE <i>Opuntia</i> spp. COM RESISTÊNCIA À <i>Dactylopius opuntiae</i> NO SEMIÁRIDO PARAIBANO	30
	RESUMO.....	30
	ABSTRACT	31
	INTRODUÇÃO	32
	MATERIAL E MÉTODOS	33
	RESULTADOS	37
	DISCUSSÃO	43
	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS	47
	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E PRODUTIVA DE ACESSOS DE <i>Opuntia</i> spp. COM RESISTÊNCIA À <i>Dactylopius opuntiae</i>	51
	RESUMO.....	51
	ABSTRACT	52
	INTRODUÇÃO	53
	MATERIAL E MÉTODOS	54
	RESULTADOS	57
	DISCUSSÃO	64
	CONCLUSÕES.....	67
	REFERÊNCIAS	68
	ASPECTOS FISIOLÓGICOS E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE ACESSOS DE <i>Opuntia</i> spp. COM RESISTÊNCIA À <i>Dactylopius opuntiae</i>	72
	RESUMO.....	72
	ABSTRACT	73
	INTRODUÇÃO	74
	MATERIAL E MÉTODOS	75

RESULTADOS	79
DISCUSSÃO	85
CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS	87
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
APÊNDICES	92

1 INTRODUÇÃO GERAL

As regiões semiáridas do mundo são zonas agroecológicas caracterizadas por apresentarem precipitações pluviométricas anuais de baixas a médias (~600 mm por ano). Nestas áreas vivem aproximadamente 2,0 bilhões de pessoas, que estão suscetíveis a elevados níveis de pobreza e dependem principalmente da agricultura para sua subsistência (Goldblatt et al., 2017). O Brasil possui uma Região Semiárida (RSA) que abrange 1.427 municípios, distribuídos nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santos (SUDENE, 2021). O Semiárido Brasileiro (SAB), ao mesmo tempo que figura como a região semiárida mais povoada do mundo, registra também alguns dos mais baixos níveis de desenvolvimento humano e de oportunidades econômicas do Brasil (Sánchez et al., 2018).

No SAB, o sistema agrícola predominante é a agricultura de sequeiro paralelo à pecuária extensiva, atividades que são desempenhadas principalmente por agricultores familiares, que são extremamente dependentes da chuva para a obtenção de rendimentos agrícolas satisfatórios (Medeiros et al., 2020).

Entre as espécies que apresentam boa adaptação a essa região se destaca as pertencentes ao gênero *Opuntia* spp., que abriga cactáceas de origem mexicana (Ramírez-Ramos et al., 2018) e que foram introduzidas no Brasil. Os cactos do gênero *Opuntia* são comumente conhecidos como peras espinhosas ou nopales, e geralmente apresentam segmentos de caule achatados ou cladódios. As espécies desse gênero apresentam relevância econômica desde os tempos pré-hispânicos (Realini et al., 2015).

A alta capacidade adaptativa de *Opuntia* a condições adversas de disponibilidade de água se deve ao seu processo fotossintético baseado no Metabolismo do Ácido Crassuláceo (CAM), em que a captura do dióxido de carbono se dá a noite, tornando a palma forrageira extremamente eficiente no uso da água quando comparada à outras espécies de produção de forragem (Edvan et al., 2020).

Dentre as espécies de *Opuntia* cultivadas no Brasil, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., destaca-se pela grande produção de biomassa (Guimarães et al., 2020) e pela produção de frutos (Segantini et al., 2010). No entanto, embora o Brasil concentre as maiores áreas cultivadas com *O. ficus-indica* do mundo (Torres & Giorgi, 2018), os campos plantados com essa espécie vêm sendo devastados pela cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae), importante praga dessa cultura (Silva et al., 2018). Assim, a dizimação das áreas cultivadas com *Opuntia ficus-indica* no país, principalmente na Região Semiárida, compromete

de forma decisiva os estoques forrageiros para a pecuária local (Torres & Giorgi, 2018) e a produção de frutos a partir dessa espécie. Nesse sentido, esforços para a recomposição dos campos de produção de *Opuntia* são pertinentes e necessários, principalmente aqueles pautados na introdução de materiais resistentes a *D. opuntiae* (Fernandes et al., 2021). Para tanto, torna-se essencial o conhecimento dos aspectos morfológicos (Amorim et al., 2015; Ramos et al., 2021), produtivos (Ramos et al., 2021; Batista et al., 2022) e fisiológicos (Souza et al., 2019; Araújo et al., 2022; Souza et al., 2022) desses novos acessos.

Nesse sentido, este estudo objetivou analisar 15 acessos de *Opuntia* com resistência comprovada a falsa cochonilha do carmim quanto aos aspectos morfológicos, fisiológicos e produtivos nas condições do Semiárido do Brasil. Para tanto, este estudo foi dividido em três capítulos. No Capítulo I, buscou-se avaliar o desempenho inicial desses acessos, tomando como bases aspectos morfológicos, fisiológicos e produtivos, buscando-se assim a seleção precoce de materiais com características superiores. No Capítulo II, objetivou-se realizar a caracterização morfológica e produtiva desses acessos decorridos 365 dias após o plantio (DAP). Já no Capítulo III, objetivou-se analisar os aspectos fisiológicos e a produção de matéria seca desses acessos, também aos 365 DAP.

REFERÊNCIAS

AMORIM, P. L. D.; MARTUSCELLO, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. T. D.; CUNHA, D. D. N. F. V. D.; JANK, L. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 230-238, 2015.

ARAÚJO, J. S.; SOUZA, J. T. A.; FÉLIX, E. S.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; LIRA, E. C. Gas exchange in genotypes of *Nopalea cochenillifera* in different seasons and evaluation times. **Acta Botanica Croatica**, v. 81, n. 2, p. 177-184, 2022.

BATISTA, M. C.; NASCIMENTO, R.; ALMEIDA, I. V. B.; MEDEIROS, L. T. V.; SOUZA, J. T. A.; SANTOS, J. P. O.; CARTAXO, P. H. A.; ARAÚJO, J. R. E. S. Production and selection of accessions of *Opuntia* spp. with resistance to false carmine cochineal. **Comunicata Scientiae**, v. 13, p. e3869, 2022.

EDVAN, R. L.; MOTA, R. R. M.; DIAS-SILVA, T. P.; NASCIMENTO, R. R.; SOUSA, S. V.; SILVA, A. L. et al. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, e10040, 2020.

FERNANDES, B. D. O.; QUEIROGA, R. C. R. E.; COSTA, R. G. D.; SILVA, D. S. D.; MACIEL, M. D. L.; RAMOS, A. O.; MEDEIROS, A. N. D. Spineless cactus varieties resistant to carmine cochineal (*Dactylopius* sp.) on the composition and sensory properties of goat milk. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 43, e25, 2021.

GOLDBLATT, R.; BALLESTEROS, A. R.; BURNEY, J. High spatial resolution visual band imagery outperforms medium resolution spectral imagery for ecosystem assessment in the semi-arid brazilian sertão. **Remote Sensing**, v. 9, n. 12, p. 1336, 2017.

GUIMARÃES, B. V. C.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZÚ, I.; AZEVEDO, A. M.; CARVALHO, A. J. Regression plateau for plot size estimation with ‘Gigante’ forage cactus pear. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 37, n. 5, p. 404-406, 2020.

MEDEIROS, A. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. C.; GOMES, T. C. A. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 287, e106690, 2020.

RAMÍREZ-RAMOS, M.; MEDINA-DZUL, K.; GARCÍA-MATEOS, R.; CORRALES-GARCÍA, J.; YBARRA-MONCADA, C.; CASTILLO-GONZÁLEZ, A. M. Nutraceutical components, antioxidant activity, and color of 11 varieties of prickly pear (*Opuntia* sp.). **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 91, p. 211-218, 2018.

RAMOS, J. P. F.; MACÊDO, A. J. S., SANTOS; E. M., EDVAN, R. L.; SOUSA, W. H.; PERAZZO, A. F.; SILVA, A. S.; CARTAXO, F. Q. Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, p. e51214, 2021.

REALINI, M. F.; GONZÁLEZ, G. E.; FONT, F.; PICCA, P. I.; POGGIO, L.; GOTTLIEB, A. M. Phylogenetic relationships in *Opuntia* (Cactaceae, Opuntioideae) from southern South America. **Plant Systematics and Evolution**, v. 301, n. 4, p. 1123-1134, 2015.

SÁNCHEZ, A. S.; ALMEIDA, M. B.; TORRES, E. A.; KALID, R. D. A.; COHIM, E.; GASPARATOS, A. Alternative biodiesel feedstock systems in the Semi-arid region of Brazil: Implications for ecosystem services. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 2744-2758, 2018.

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

SILVA, R. C.; FERREIRA, M. A.; OLIVEIRA, J. C. V.; SANTOS, D. C.; GAMA, M. A. S.; CHAGAS, J. C. C.; INÁCIO, J. G.; SILVA, E. T. S.; PEREIRA, L. G. R. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) spineless cactus as an option in crossbred dairy cattle diet. **South African Journal of Animal Science**, v. 48, n. 3, p. 516-525, 2018.

SOUZA, J. T. A.; ARAÚJO, J. S.; FÉLIX, E. S.; ALVES, R.C.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; LIRA, E.C. CO₂ capture and water use efficiency in *Opuntia stricta* (Haw.) at different seasons and evaluation times. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 16, n. 2, p. e13525, 2022.

SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; RAMOS, J. P. F.; SOUSA, W. H.; ARAÚJO, J. S.; LIMA, G. F. C.; DIAS, J. A. Rendimento quântico e eficiência de uso da água de genótipos de palma forrageira no Semiárido brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 262, p. 268-273, 2019.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido – 2021: Relatório Final**. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiariadorelatorionv.pdf>. Acesso em 15 de novembro de 2022.

TORRES, J. B.; GIORGI, J. A. Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): perspective from Pernambuco state, Brazil. **Phytoparasitica**, v. 46, n. 3, p. 331-340, 2018.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Opuntia*

A Família Cactaceae possui aproximadamente 130 gêneros e 2.000 espécies, quase todas nativas das Américas (El Aalaoui & Sbaghi, 2021). É dividida em quatro Subfamílias: Cactoideae Eaton; Maihuenioideae P. Fearn; Opuntioideae Burnett e Pereskioideae Engelm (Martín-Gómez et al., 2021). Dentre elas, destaca-se a Opuntioideae por suas características morfológicas e anatômicas que permitem a adaptação das suas espécies às mais diferentes condições ambientais (Ventura-Aguilar et al., 2017). Nessa Subfamília, destaca-se o gênero *Opuntia*, o mais importante economicamente pela presença de espécies com potenciais alimentar e forrageiro. Dentre elas, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., *O. megacantha* Salm-Dyck, *O. stricta* Haw., *O. dilennei* (Ker Gawl.) Haw., *O. schumannii* Weber, *O. robusta* Wendl. e *O. albicarpa* Scheinvar (Arba et al., 2017; Ventura-Aguilar et al., 2017).

As espécies do gênero *Opuntia* devido aos seus aspectos morfológicos e bioquímicos possuem adaptação a uma variedade de ambientes (Piovan et al., 2015). Assim como as demais cactáceas, *Opuntia* possui o Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM), que se trata de uma adaptação fotossintética no qual a absorção de CO₂ se dá no período noturno, otimizando assim, a eficiência do uso da água na assimilação do carbono em plantas que crescem em habitats com restrições hídricas (Borland et al., 2009). Plantas com esse tipo de metabolismo mantêm seus estômatos fechados durante o dia e realizam a abertura estomática durante o período noturno, com o CO₂ absorvido sendo armazenado nos vacúolos na forma de ácido málico. Durante o dia, o ácido málico é descarboxilado e incorporado ao ciclo de Calvin-Benson pela enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) (Heyduk, 2022).

Essa alta eficiência no uso da água permite que essas plantas tenham um gasto de 100,0 a 150,0 kg de água para cada 1,0 kg produzido de matéria seca. Valores que representam uma eficiência cerca de seis vezes maior do que a observada em leguminosas e cerca de três vezes mais do que em gramíneas (Edvan et al., 2020). Essas espécies possuem produtividades anuais da parte aérea comparáveis a plantas com metabolismo C₃ ou C₄, porém, usando apenas 20% da água necessária para a produção dessas espécies (Borland et al., 2009).

Não surpreendentemente, considera-se que o futuro das Regiões Áridas e Semiáridas seja dependente do desenvolvimento de sistemas agrônomicos sustentáveis e implantação de cultivos adequados, a exemplo do uso de cactáceas como *Opuntia* (Grünwaldt et al., 2015). Plantas desse gênero desenvolveram adaptações morfológicas específicas, como a transformação das folhas em espinhos, proteção dos cladódios por uma cutícula impermeável e

mecanismos que lhes permitem utilizar a água de forma eficiente, como armazenamento de água nos cladódios e redução da transpiração (Arba et al., 2017). Essas adaptações permitem que essas plantas possam sobreviver em áreas com precipitações pluviométricas anuais de até 50 mm, porém sem crescimento e produção. No entanto, precipitações médias anuais entre 100 e 150 mm são reportadas como o mínimo exigido para estabelecer com sucesso plantações em regime de sequeiro em solos arenosos e profundos (Grünwaldt et al., 2015).

A distribuição natural do gênero *Opuntia* Mill inclui ambientes que vão do nível do mar a 3.400 metros de altitude, se estendendo de Alberta, no Canadá, à Patagônia, na Argentina e ao Caribe e às Ilhas Galápagos; entretanto, as áreas de ocorrência mais comuns das espécies de *Opuntia* são áreas de terras áridas e semiáridas (López-Palacios; Peña-Valdivia, 2020). O México é o centro de diversidade de *Opuntia* no mundo concentrando 83 a 104 das quase 200 espécies conhecidas em todo o mundo (Chávez-Moreno et al., 2009). Nesse país, espécies de *Opuntia* são cultivadas há pelo menos 14.000 anos. As Civilizações Mesoamericanas usavam os cladódios como vegetais ou forragem e, principalmente, como cultura de frutas sazonais, como frutas doces (tunas) ou ácidas (“xoconostle”) (Chávez-Moreno et al., 2009; Samah et al., 2016). No México, mais de 50 espécies desse gênero são utilizadas principalmente como alimento, forragem e usos medicinais; ainda 20 espécies são cultivadas com diferentes graus de domesticação (Chávez-Moreno et al., 2009). As espécies selvagens e domesticadas de *Opuntia* representam um importante recurso econômico, o que se deve, por exemplo, ao alto valor nutricional de seus cladódios e frutos e aos efeitos potenciais na saúde, principalmente derivados do alto teor de compostos antioxidantes, pigmentos, ácidos fenólicos, biopeptídeos e fibras solúveis dessas plantas (Valero-Galvan et al., 2021); além do potencial forrageiro desses materiais (Dubeux Junior et al., 2021).

Ressalta-se que há nesse gênero diferentes graus de domesticação, com a presença de espécies silvestres como *Opuntia streptacantha* e *Opuntia hyptiacantha*, outras semidomesticadas como *Opuntia megacantha* e *Opuntia albicarpa*, e no final do gradiente *Opuntia ficus-indica*, que é uma espécie domesticada há muito tempo e com relevante importância agrícola e econômica em regiões áridas e semiáridas do mundo (Pichereaux et al., 2016).

A partir das Grandes Navegações, numerosas espécies de cactos, incluindo *Opuntia* foram introduzidas em todo o mundo por diferentes razões, inclusive como plantas ornamentais e para fornecer forragem e produtos comestíveis (Arba et al., 2017; Shackleton et al., 2017). Atualmente, espécies de *Opuntia* são cultivados em todo o mundo para produção de frutas e

hortaliças, além da utilização como forragem para o gado em áreas áridas do mundo, principalmente no Brasil e no México, e em menor escala no oeste da Ásia e norte e sul da África (Arba et al., 2017).

No Brasil, os registros históricos da introdução de espécies de *Opuntia* são do período colonial, com a introdução de *O. ficus-indica* para servir de hospedeiro para a cochonilha do carmim *Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae), para fins de produção de corante; todavia, essa iniciativa não obteve êxito. A produção de *O. ficus-indica* teve novo fôlego durante o início da década de 1930, quando uma severa seca atingiu o atualmente denominado Semiárido Brasileiro e levou o Governo Federal a incentivar a sua produção para fins de alimentação animal (Torres & Giorgi, 2018) tornando essa cultura em uma reserva forrageira chave para a pecuária dessa Região (Dubeux Junior et al., 2021).

Apesar dos esforços governamentais para diversificar o uso de *Opuntia* no Brasil, a maior parte das áreas plantadas ainda é destinada à produção de forragem. Por suas características anatômicas, morfológicas e fisiológicas que permitem sua adaptação às condições edafoclimáticas do Semiárido Brasileiro, espécies desse gênero são amplamente utilizadas para a alimentação de caprinos, ovinos e bovinos nessa Região (Alves et al., 2016). Ações para produção de frutos também são relatadas, e evidenciam uma elevada potencialidade local para essa cadeia produtiva (Nunes et al., 2017).

Apesar de sua comprovada rusticidade, espécies de *Opuntia* estão sujeitas a uma série de restrições bióticas, com destaque para o ataque de pragas, em especial as cochonilhas *Diaspis echinocacti* e *Dactylopius opuntiae* que têm impactos significativos no rendimento e na sustentabilidade do cultivo dessas plantas ao redor do mundo (El Aalaoui & Sbaghi, 2021), inclusive no Brasil (Vasconcelos et al., 2009; Lopes et al., 2010; Silva et al., 2010; Torres & Giorgi, 2018; Monteiro et al., 2019).

2.2 *Dactylopius opuntiae*

As cochonilhas são insetos de comprovada importância econômica incluindo as pertencentes ao gênero *Dactylopius* (Costa), família Dactylopiidae (Signoret), superfamília Coccoidea e ordem Hemiptera (Ramírez-Puebla et al., 2010). O gênero *Dactylopius* inclui um grupo homólogo de insetos hemípteros fitófagos de 1,0 a 6,0 mm de comprimento, e que são caracterizados por sua secreção de cobertura cerosa do tipo algodão branco e seus corpos coloridos (Chávez-Moreno et al., 2009). Ainda, todas as espécies de *Dactylopius* spp. produzem hemolinfa vermelha brilhante, rica em ácido carmínico, que é usado pelos insetos para proteção contra predadores, e explorada comercialmente como corante (Ramírez-Puebla et al., 2010).

A ocorrência de espécies de *Dactylopius* é relatada em 33 países, seja de forma natural ou introduzida, com mais de um terço delas ocorrendo na América do Norte. Entre as espécies desse gênero, *D. opuntiae*, ocorre em 16 países, *D. coccus* em 15 países e *D. tomentosus* em 07 países, sendo estes três encontrados nos cinco continentes. Já *D. ceylonicus* ocorre em 13 países e é conhecida por ser a espécie mais amplamente registrada na América do Sul (Chávez-Moreno et al., 2009).

As espécies de *Dactylopius* são reconhecidas como uma fonte natural de corante (Spodek et al., 2014). Quando esmagadas, as fêmeas liberam um corante vermelho, o carmim. Essa substância tem vasto uso industrial, principalmente nas indústrias cosmética, alimentícia, farmacêutica e têxtil (Bouharroud et al., 2018). Todavia, embora todas as espécies desse gênero produzam esse tipo de corante, a produção comercial é pautada principalmente em *D. coccus*, que é uma espécie domesticada (Ramírez-Puebla et al., 2016).

Dactylopius opuntiae (Cockerell) é uma das 11 espécies pertencentes à família monotípica de cochonilhas Dactylopiidae. Essa espécie é nativa do México, porém foi introduzida em diversas outras partes do globo, seja para a produção de corante carmim (Santos et al., 2016), ou para o controle biológico de espécies de *Opuntia*, que são invasoras em países como Austrália, Índia e África do Sul (Spodek et al., 2014).

Essa cochonilha é uma praga primária de *O. ficus - indica* e outras espécies cultivadas e selvagens de *Opuntia* (Vanegas-Rico et al., 2016). As fêmeas dessa espécie passam todo o seu ciclo de vida na superfície da planta hospedeira, já os machos são alados e têm vida curta (Ramírez-Puebla et al., 2016). Diferenças também são observadas nos estágios biológicos. Enquanto as fêmeas possuem 03 estágios - ovo, ninfa (02 ínstars) e adulto, os machos possuem estágios de ovo, ninfa, pré-pupa, pupa e adulto (Bouharroud et al., 2018). Ninfas e fêmeas adultas alimentam-se diretamente da planta, causando clorose e queda prematura de cladódios e frutos e perda de vigor (Flores et al., 2013). Já infestações mais severas (>75% da superfície do cladódio) podem resultar na morte da planta (Vanegas-Rico et al., 2016). Cada fêmea põe em média 150-160 ovos, que eclodem quase imediatamente em ninfas. O ciclo de vida da fêmea varia de 90 a 128 dias e ela vive presa de forma permanente às suas plantas hospedeiras (Flores et al., 2013).

No Brasil, *D. opuntiae* foi importada do México visando a produção em larga escala do corante carmim (Santos et al., 2016), todavia acabou se tornando uma praga importante das espécies de *Opuntia* cultivadas no país, em especial *O. ficus - indica* (Santos et al., 2016; Torres & Giorgi, 2018; Matos et al., 2021). *D. opuntiae* foi responsável por inviabilizar a produção de

O. ficus – indica em diversas áreas do Semiárido Brasileiro (Matos et al., 2021). A rápida propagação dessa praga na Região foi ainda favorecida pelas condições climáticas locais onde, as altas temperaturas permitem vários ciclos reprodutivos durante o ano (Santos et al., 2016).

Em alguns estados do Semiárido Nordeste, como, por exemplo, na Paraíba, a explosão populacional causou até 100% de morte de plantas (Santos et al., 2016). Os danos econômicos gerados por essa praga foram de grande impacto para os produtores rurais, especialmente por comprometer as reservas forrageiras e desestabilizar a produção pecuária local (Torres & Giorgi, 2018). Mais de 100.000 hectares foram atingidos com prejuízos anuais superiores a mais de 100 milhões de dólares (Mazzeo et al., 2019).

Dactylopius opuntiae é imprevisível e se espalha rapidamente, de modo que, sua disseminação em áreas cultivadas com *Opuntia* no Brasil se deu em alta proporção, resultando na devastação de enormes áreas plantadas. Dessa forma, ações concentradas na busca de soluções eficazes de manejo são requeridas e essenciais para manter o valor socioeconômico dessa cultura (Sabbahi & Hock, 2022).

O controle químico dessa praga possui um custo elevado, além de que o uso descontrolado dessas substâncias pode comprometer a sustentabilidade ambiental (Monteiro et al., 2019). Ademais, esse tipo de controle é muito dispendioso para os pequenos produtores rurais, tornando-o inviável em muitas situações (Vasconcelos et al., 2009). Dessa forma, a maneira mais eficiente para lidar com *D. opuntiae* no Brasil tem sido a seleção e introdução de variedades de *Opuntia* com resistência a esse inseto (Vasconcelos et al., 2009; Lopes et al., 2010; Matos et al., 2021).

2.3 Variedades Resistentes

Nas condições naturais, os organismos vegetais se encontram em constante exposição ao ataque de pragas e patógenos. No processo evolutivo, mecanismos de defesa para tolerar esses estresses abióticos foram desenvolvidos pelas plantas, sendo estes baseados em alterações na composição e propriedades da parede celular ou no metabolismo primário e secundário. Ressalta-se ainda que as plantas precisam equilibrar o investimento de recursos entre a defesa e a manutenção de processos químicos vitais para o desenvolvimento e reprodução (Falcão et al., 2013).

Explorar a resistência de variedades de *Opuntia* é uma prática importante para lidar com os ataques de *D. opuntiae*, visto que essa é uma ação de fácil adoção em larga escala sem ter que contar com grandes investimentos iniciais dos produtores. Ademais, do ponto de vista

financeiro, é compensatório o custo de substituição de uma variedade suscetível e já destruída por uma resistente ou menos suscetível (Torres & Giorgi, 2018).

No Brasil, a substituição de cultivares suscetíveis por cultivares mais produtivas e a adoção de melhores práticas agronômicas tem potencial de melhorar o sistema de produção como um todo (Torres & Giorgi, 2018). Após a introdução de variedades resistentes a *D. opuntiae*, os sistemas de produção agropecuária do Semiárido Brasileiro começaram a mostrar maior estabilidade produtiva e redução da mortalidade de plantas pelo ataque dessa praga, melhorando assim, o fornecimento de forragem durante os períodos mais secos do ano (Alves et al., 2018).

Diversas variedades foram testadas no campo para resistência e aumento de produtividade e estão sendo usados para manter a população de *D. opuntiae* em níveis que não danifiquem as plantações de *Opuntia* (Falcão et al., 2013). Muitas foram avaliadas em laboratório e em campo quanto às suas capacidades de resistência permitindo a seleção de materiais resistentes como as variedades Miúda (*Opuntia cochenillifera* (L.) Salm Dyck subgênero *Nopalea*) (Vasconcelos et al., 2009), Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) (Vasconcelos et al., 2009; Lopes et al., 2010), IPA Sertânia (*O. cochenillifera* subgênero *Nopalea*) (Lopes et al., 2010) e Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata* Griffiths) (Borges et al., 2013). No entanto, destaca-se que ainda existem muitas lacunas quanto a avaliação de materiais com potencial utilização para produção de frutos.

Recentemente, Almeida et al. (2022) também identificaram acessos de *Opuntia* sp., *O. dillenii*, *O. leucotricha*, *O. robusta*, *O. rzedowskii*, *O. stricta* e *O. undulata*, *O. cochenillifera*, *O. joconostle*, *O. atropes* e *O. megacantha* resistentes a *D. opuntiae*. Batista et al. (2022) realizaram a caracterização produtiva desses materiais e identificaram diferentes padrões de produção de biomassa. Todavia, há demanda de informações quanto a outros aspectos produtivos, morfológicos e fisiológicos desses acessos, em especial os que apresentam aptidão frutífera.

A obtenção de informações acerca de novos acessos de *Opuntia* são importantes na expansão do conhecimento sobre esse gênero, especialmente sobre os aspectos morfológicos e estratégias fisiológicas que lhes permitem se adaptar a novos habitats (Piovan et al., 2015).

É importante destacar que o aumento da produtividade de *Opuntia* em uma dada região é dependente de suas características morfológicas. A avaliação dos caracteres morfológicos e produtivos de espécies desse gênero é essencial para a análise da variabilidade de seu desempenho ao longo do tempo e do espaço (Silva et al., 2015). Ademais, ainda não estão claros

quais diferenças existem entre os principais parâmetros fisiológicos em cultivares com diferentes tolerâncias à cochonilha do carmim (Falcão et al., 2013).

A determinação do teor de pigmentos nesses acessos, como, por exemplo, a clorofila, é uma ação importante, pois maior síntese desse pigmento está diretamente relacionada à absorção, eficiência e transporte de elementos minerais, além de que estes são cofatores para vários processos celulares críticos, incluindo a fotossíntese, processo diretamente relacionado com a produtividade de *Opuntia* (Lahbouki et al., 2022).

Nesse mesmo sentido, conhecer o padrão de trocas gasosas desses materiais, como, por exemplo, a captação de CO₂, é desejável, visto sua relação direta com o acúmulo de biomassa nesses acessos (Souza et al., 2022). Ainda, cabe destacar que os mecanismos e funções do metabolismo do CAM estão diretamente relacionados às trocas gasosas, de modo que a intensidade dessas trocas pode ser decisiva para o bom estabelecimento de *Opuntia* (Araújo et al., 2022).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. V. B.; PRIMO, L. G. S.; PEREIRA, E. J. G. Selection of *Opuntia* spp. accessions with resistance to false cochineal carmine (*Dactylopius opuntiae*). **Acta Horticulturae**, v. 1343, p. 7-14, 2022.

ALVES, F. A. L.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SANTOS, D. C. Study of the variability, correlation and importance of chemical and nutritional characteristics in cactus pear (*Opuntia* and *Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 31, p. 2882-2892, 2016.

ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. D.; SILVA, T. G. F. The application of agrometeorological techniques contributes to the agricultural resilience of forage cactus: A review. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 2, n. 3, p. 207-220, 2018.

ARAÚJO, J. S.; SOUZA, J. T. A.; FÉLIX, E. S.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; LIRA, E. C. Gas exchange in genotypes of *Nopalea cochenillifera* in different seasons and evaluation times. **Acta Botanica Croatica**, v. 81, n. 2, p. 177-184, 2022.

ARBA, M.; FALISSE, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; SINDIC, M. Biology, flowering and fruiting of the cactus *Opuntia* spp.: A review and some observations on three varieties in Morocco. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 60, p. e17160568, 2017.

BATISTA, M. C.; NASCIMENTO, R.; ALMEIDA, I. V. B.; MEDEIROS, L. T. V.; SOUZA, J. T. A.; SANTOS, J. P. O.; CARTAXO, P. H. A.; ARAÚJO, J. R. E. S. Production and selection of accessions of *Opuntia* spp. with resistance to false carmine cochineal. **Comunicata Scientiae**, v. 13, p. e3869, 2022.

- BORGES, L. R.; SANTOS, D. C.; CAVALCANTI, V. A. L. B.; GOMES, E. W. F.; FALCÃO, H. M.; SILVA, D. M. P. Selection of cactus pear clones regarding resistance to carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Dactylopiidae). **Acta Horticulturae**, n. 995, p. 359-365, 2013.
- BORLAND, A. M.; GRIFFITHS, H.; HARTWELL, J.; SMITH, J. A. C. Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 10, p. 2879-2896, 2009.
- BOUHARROUD, R.; SBAGHI, M.; BOUJGHAGH, M.; EL BOUHSSINI, M. Biological control of the prickly pear cochineal *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). **EPP0 Bulletin**, v. 48, n. 2, p. 300-306, 2018.
- CHÁVEZ-MORENO, C. K.; TECANTE, A.; CASAS, A. The *Opuntia* (Cactaceae) and *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Mexico: a historical perspective of use, interaction and distribution. **Biodiversity and Conservation**, v. 18, n. 13, p. 3337-3355, 2009.
- DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; 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. e114890, 2021.
- EDVAN, R. L.; MOTA, R. R. M.; DIAS-SILVA, T. P.; NASCIMENTO, R. R.; SOUSA, S. V.; SILVA, A. L. et al. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, e10040, 2020.
- EL AALAOUI, M.; SBAGHI, M. Life history of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) on Moroccan resistant cactus germplasm. **BioRxiv**, v. 2021, p. e453565, 2021.
- FALCÃO, H. M.; OLIVEIRA, M. T.; MERGULHÃO, A. C.; SILVA, M. V.; SANTOS, M. G. Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 419-424, 2013.
- FLORES, A.; OLVERA, H.; RODRÍGUEZ, S.; BARRANCO, J. Predation potential of *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae) to the prickly pear cacti pest *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). **Neotropical Entomology**, v. 42, n. 4, p. 407-411, 2013.
- GRÜN WALDT, J. M.; GUEVARA, J. C.; GRÜN WALDT, E. G.; CARRETERO, E. M. Cacti (*Opuntia* spp.) as forage in Argentina dry lands. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, v. 47, n. 1, p. 263-282, 2015.
- HEYDUK, K. Evolution of Crassulacean acid metabolism in response to the environment: past, present, and future. **Plant Physiology**, v. 190, n. 1, p. 19-30, 2022.
- LAHBOUKI, S.; BEN-LAOUANE, R.; OUTZOURHIT, A.; MEDDICH, A. The combination of vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi improves the physiological properties and chemical composition of *Opuntia ficus-indica* under semi-arid conditions in the field. **Arid Land Research and Management**, v. 2022, p. e 2115952, 2022.
- LOPES, E. B.; BRITO, C. D.; ALBUQUERQUE, I. C.; BATISTA, J. L. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do-carmim

(*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 204-215, 2010.

LÓPEZ-PALACIOS, C.; PEÑA-VALDIVIA, C. B. Screening of secondary metabolites in cladodes to further decode the domestication process in the genus *Opuntia* (Cactaceae). **Planta**, v. 251, n. 4, p. 1-14, 2020.

MARTÍN-GÓMEZ, J. J.; DEL POZO, D. G.; TOCINO, Á.; CERVANTES, E. Geometric Models for Seed Shape Description and Quantification in the Cactaceae. **Plants**, v. 10, n. 11, p. e2546, 2021.

MATOS, T. K. B.; GUEDES, J. A.; ALVES FILHO, E. G.; LUZ, L. R.; LOPES, G. S.; NASCIMENTO, R. F.; SOUSA, J. A.; CANUTO, K. M.; BRITO, E. S.; DIAS-PINI, N. S.; ZOCCOLO, G. J. Integrated UPLC-HRMS, chemometric tools, and metabolomic analysis of forage palm (*Opuntia* spp. and *Nopalea* spp.) to define biomarkers associated with non-susceptibility to carmine cochineal (*Dactylopius opuntiae*). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, p. 1617-1627, 2021.

MAZZEO, G.; NUCIFORA, S.; RUSSO, A.; SUMA, P. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 167, n. 1, p. 59-72, 2019.

MONTEIRO, C. C. F.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C.; GUIDO, S. I.; ALMEIDA, M. P.; SILVA, R. C.; INÁCIO, J. G. A new cactus variety for dairy cows in areas infested with *Dactylopius opuntiae*. **Animal Production Science**, v. 59, n. 3, p. 479-485, 2019.

NUNES, V. X.; NUNES, N. U. X.; LONDE, L. N.; OLIVEIRA, C. G.; INOUE, N. A. A. M.; ROCHA, S. S.; CALAES, J. E. G. Physico-chemical characterization of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) in the semi-arid region of Bahia State, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 51, p. 3537-3541, 2017.

PICHEREAUX, C.; HERNÁNDEZ-DOMÍNGUEZ, E.-E.; SANTOS-DIAZ, M. D. S.; REYES-AGÜERO, A.; ASTELLO-GARCÍA, M.; GUÉRAUD, F.; SALVAYRE, A. N.; SCHILTZ, O.; ROSSIGNOL, M.; LA ROSA, A. P. B. Comparative shotgun proteomic analysis of wild and domesticated *Opuntia* spp. species shows a metabolic adaptation through domestication. **Journal of Proteomics**, v. 143, p. 353-364, 2016.

PIOVAN, A.; CANIATO, R.; FILIPPINI, R.; CHIESURA, F.; VECCHIA, F. D. Morphological and phytochemical aspects of three alien *Opuntia* species on Euganean Hills in North-Eastern Italy. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 149, n. 4, p. 788-796, 2015.

RAMÍREZ-PUEBLA, S. T.; ORMEÑO-ORRILLO, E.; LEON, A. V.; LOZANO, L.; SANCHEZ-FLORES, A.; ROSENBLUETH, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Genomes of *Candidatus* Wolbachia bourtzisii w DacA and *Candidatus* Wolbachia pipientis w DacB from the cochineal insect *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae). **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 6, n. 10, p. 3343-3349, 2016.

RAMIREZ-PUEBLA, S. T.; ROSENBLUETH, M.; CHAVEZ-MORENO, C. K.; LYRA, M. C. C. P.; TECANTE, A.; MARTINEZ-ROMERO, E. Molecular phylogeny of the genus

Dactylopius (Hemiptera: Dactylopiidae) and identification of the symbiotic bacteria. **Environmental Entomology**, v. 39, n. 4, p. 1178-1183, 2010.

SABBAHI, R.; HOCK, V. Control of the prickly pear cochineal, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), in Morocco: an overview. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 129, p. 1323–1330, 2022.

SAMAH, S.; VALADEZ-MOCTEZUMA, E.; PELÁEZ-LUNA, K. S.; MORALES-MANZANO, S.; MEZA-CARRERA, P.; CID-CONTRERAS, R. C. Genetic divergence between Mexican *Opuntia* accessions inferred by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism analysis. **Genet Mol Res**, v. 15, n. 2, p. e15027786, 2016.

SANTOS, A. C. S.; OLIVEIRA, R. L. S.; COSTA, A. F.; TIAGO, P. V.; OLIVEIRA, N. T. Controlling *Dactylopius opuntiae* with *Fusarium incarnatum*–*equiseti* species complex and extracts of *Ricinus communis* and *Poincianella pyramidalis*. **Journal of Pest Science**, v. 89, n. 2, p. 539-547, 2016.

SHACKLETON, R. T.; WITT, A. B.; PIORIS, F. M.; VAN WILGEN, B. W. Distribution and socio-ecological impacts of the invasive alien cactus *Opuntia stricta* in eastern Africa. **Biological Invasions**, v. 19, n. 8, p. 2427-2441, 2017.

SILVA, M. G. S.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; CORTES, L. C. D. S. L.; MOTA, D. L.; SILVA, L. L. S.; SANTOS, M. V. F.; SANTOS, D. C. Anatomy of different forage cacti with contrasting insect resistance. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 6, p. 718-722, 2010.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; 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. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SOUZA, J. T. A.; ARAÚJO, J. S.; FÉLIX, E. S.; ALVES, R.C.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; LIRA, E.C. CO₂ capture and water use efficiency in *Opuntia stricta* (Haw.) at different seasons and evaluation times. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 16, n. 2, p. e13525, 2022.

SPODEK, M.; BEN-DOV, Y.; PROTASOV, A.; CARVALHO, C. J.; MENDEL, Z. First record of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell)(Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) from Israel. **Phytoparasitica**, v. 42, n. 3, p. 377-379, 2014.

TORRES, J. B.; GIORGI, J. A. Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): perspective from Pernambuco state, Brazil. **Phytoparasitica**, v. 46, n. 3, p. 331-340, 2018.

VALERO-GALVÁN, J.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, R.; SIGALA-HERNÁNDEZ, A.; NÚÑEZ-GASTÉLUM, J.A.; RUIZ-MAY, E.; RODRIGO-GARCÍA, J.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A.; MARTÍNEZ-RUIZ, N R. Sensory attributes, physicochemical and antioxidant characteristics, and protein profile of wild prickly pear fruits (*O. macrocentra* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm., and *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelmann.) and commercial prickly pear fruits (*O. ficus-indica* (L.) Mill.). **Food Research International**, v. 140, p. e109909, 2021.

VANEGAS-RICO, J. M.; RODRÍGUEZ-LEYVA, E.; LOMELI-FLORES, J. R.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, H.; PÉREZ-PANDURO, A.; MORA-AGUILERA, G. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. **BioControl**, v. 61, n. 6, p. 691-701, 2016.

VASCONCELOS, A. G. V. D.; LIRA, M. D. A.; CAVALCANTI, V. L. B.; SANTOS, M. V. F. D.; WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 827-831, 2009.

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.

CAPÍTULO I

SELEÇÃO DE ACESSOS DE *Opuntia* spp. COM RESISTÊNCIA À *Dactylopius opuntiae* NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

RESUMO

Opuntia é um importante gênero de Cactaceae e se destaca por sua utilização para produção de frutos e forragem. No Semiárido Brasileiro, espécies desse gênero detêm relevante importância como reserva forrageira para a pecuária local. No entanto, algumas pragas, como a falsa cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*), representam um entrave para essa cultura. Nesse sentido, neste estudo objetivou-se avaliar 15 acessos de *Opuntia* com resistência esta praga, quanto aos aspectos morfológicos, produtivos e de trocas gasosas decorridos 180 dias após o plantio. Os resultados demonstraram elevada variabilidade entre os acessos para altura e largura de plantas, número de cladódios, índice de área de cladódio, biomassa fresca de cladódios e produtividade de matéria fresca. Altas taxas de sobrevivência também foram obtidas para a maioria dos acessos. No entanto, para as variáveis de trocas gasosas há menor variabilidade. A análise de componentes principais evidenciou forte associação entre as características morfológicas e a taxa de captação de CO₂, eficiência instantânea de uso da água, eficiência intrínseca do uso de água e eficiência de carboxilação instantânea. Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que aos 180 após o plantio já é possível identificar acessos de *Opuntia* com características superiores, e acessos como o 48, 49, 75, 91 e 100 podem ser recomendados.

Palavras-Chave: adaptação; produtividade; trocas gasosas; palma forrageira.

ABSTRACT

Opuntia is an important genus of Cactaceae and stands out for its use for fruit and forage production. In the semi-arid region of Brazil, species of this genus are of great importance as a forage reserve for local livestock. However, some pests, such as the false carmine cochineal (*Dactylopius opuntiae*), represent an obstacle to this crop. In this sense, this study aimed to evaluate 15 accessions of *Opuntia* with resistance to the false carmine cochineal in terms of morphological, productive and gas exchange aspects 180 days after planting. The results showed high variability among accessions for plant height and width, number of cladodes, cladode area index, fresh cladode biomass and fresh matter productivity. High survival rates were also obtained for most accessions. However, for the gas exchange variables there is less variability. Principal component analysis showed a strong association between morphological characteristics and CO₂ uptake rate, instantaneous water use efficiency, intrinsic water use efficiency and instantaneous carboxylation efficiency. The results obtained in this study show that 180 days after planting, it is already possible to identify *Opuntia* accessions with superior characteristics, and accessions such as 48, 49, 75, 91 and 100 can be recommended.

Keywords: adaptation; productivity; gas exchange; prickly-pear

INTRODUÇÃO

A família Cactaceae possui cerca de 130 gêneros e 2.000 espécies originalmente nativas do Novo Mundo (Abouseadaa et al., 2020). Agrupa uma elevada diversidade de espécies xerófitas distribuídas em ambientes áridos e semiáridos (Tenório-Escandón et al., 2022), onde possuem bom desempenho devido às características morfológicas e anatômicas que permitem sua adaptação a diferentes condições ambientais (Rosas-Reinhold et al., 2021).

Opuntia é o gênero mais difundido de Cactaceae e suas espécies são comumente conhecidas como peras espinhosas, tunas e nopales (Köhler et al., 2021). Esse gênero possui importância econômica desde os tempos pré-hispânicos (Realini et al., 2015) o que se deve ao seu grande potencial de utilização para produção de cladódios, forragem e frutos (Ventura-Aguilar et al., 2017) em condições de altas temperaturas, baixa pluviosidade, solos salinos e/ou severamente degradados e com suprimento limitado de nutrientes (Azizi-Gannouni et al., 2020; Sipango et al., 2022).

No Brasil, o gênero *Opuntia* detêm relevante importância, especialmente na Região Semiárida, onde algumas de suas espécies são cultivadas para fins multiusos (frutos/forragens) ou apenas produção de forragem, constituindo-se como importante reserva forrageira para a pecuária dessa região, principalmente durante a estação seca do ano (Dubeux Júnior et al., 2021). No entanto, a introdução da falsa cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae), importante praga dessa cultura, levou a grandes perdas nos palmais brasileiros (Silva et al., 2018), especialmente porque a principal espécie cultivada até então, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., mostrou-se extremamente suscetível a esse inseto praga, o que resultou na destruição de milhares de hectares de áreas cultivadas (Torres & Giorgi, 2018).

Dessa forma, diante da redução dos estoques forrageiros para a pecuária local e do comprometimento da produção de frutos, esforços foram requeridos para a recomposição dos palmais brasileiros, principalmente os pautados na introdução de materiais resistentes à falsa cochonilha do carmim (Fernandes et al., 2021). A introdução de genótipos em uma dada região requer necessariamente uma etapa de conhecimento das características dessas plantas, visto que por meio desses dados é possível selecionar ou descartar genótipos com características indesejáveis (Amorim et al., 2015).

Assim, torna-se necessário avaliar a adaptação desses materiais e sua caracterização agrônômica (Edvan et al., 2020), como, por exemplo, seus aspectos vegetativos e morfológicos (Amorim et al., 2015). Ademais, outro ponto que deve ser considerado é a obtenção de

informações quanto aos aspectos fisiológicos, visto que há grandes lacunas quanto a dados sobre a fisiologia dessa cultura (Souza et al., 2019; Araújo et al., 2022), de modo que a análise dessas informações pode ser um importante critério a se considerar na seleção de genótipos de *Opuntia* (Souza et al., 2019).

A hipótese é que, avaliando os aspectos morfológicos, produtivos e fisiológicos iniciais de diferentes acessos de *Opuntia* com resistência comprovada à falsa cochonilha do carmim, é possível identificar precocemente materiais com alto desempenho e que possam ser utilizados para subsidiar estratégias de recomposição de campos de produção desta cactácea no Semiárido do Brasil. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar 15 acessos de *Opuntia* com resistência à falsa cochonilha do carmim quanto a morfologia, produção e trocas gasosas decorridos 180 dias após o plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, localizada no município de Soledade, Paraíba, Semiárido Brasileiro. Realizou-se a seleção de 15 acessos pertencente ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de *Opuntia* spp. da referida instituição, conforme recomendação de pesquisas anteriores do programa de melhoramento genético da cultura desenvolvidos na Estação.

A seleção das plantas se deu pelo potencial frutífero e a resistência à falsa cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* Cockerell (1896). Realizou-se o cultivo dos 15 acessos distribuídos em delineamento de Blocos Casualizados, com nove repetições, sendo a parcela útil correspondente a duas plantas, espaçadas em 0,3 metros entre si, e de 0,5 metros entre parcelas. Cada bloco foi composto por uma linha, estando estas dispostas com um espaçamento de 1,5 metros entre si. Utilizou-se uma densidade populacional de 22.222 plantas por hectare. As bordaduras de contorno da área experimental foram constituídas por linhas plantadas com *O. stricta* Haw.

Tabela 1 – Acessos de *Opuntia* spp. utilizados no estudo, pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG), da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, Soledade, Paraíba, Brasil.

Acesso	Nome	Origem	Espécie
46	Tapón pelón - T81	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	<i>O. robusta</i> Wendl.
47	Forrajero Cenizo - F27	Rancho M.R., Ramos Arizpe, Coahuila, México	<i>O. rzedowskii</i> Scheinvar
48	Camueso - T35	La Tinaja, San Diego de la Unión, Guanajuato, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
49	Blanco Valtierra - F48	Valtierrilla, Guanajuato, México	<i>O. atropes</i> Rose
51	Naranjona - T40	Rancho Las Papas, Zacatecas, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
58	Tapón	Nopalera UACH, Chapingo, México	<i>O. robusta</i> Wendl
60	Durasnillo - F25	La Pila, San Luis Potosí, México	<i>O. leucotricha</i> DC.
64	F Espinoso	Nopalera UACH, Chapingo, México	<i>Opuntia</i> sp.
75	Penca Alargado - F34	Vivero SEMARNAP, Saltillo, Coahuila, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
83	Espinoso Amarillo - F46	Rancho Bill Maltsberger, Cotulla, Texas	<i>O. robusta</i> Wendl
91	Aguamielilla Hgo. - T72	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	<i>O. joconostle</i> A. Web.
94	Xoconostle - T34	La Tinaja, San Diego de la Unión, Guanajuato, México	<i>O. joconostle</i> A. Web.
100	Tuna Morada - T80	Faculdade Agronomia, Marin, Nuevo León, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
110	G9. IPA-100431 - Clone 9 OEA	IPA, Arcoverde, Pernambuco, Brasil	<i>O. undulata</i> Griffiths
115	G14. IPA-200149 - V19	IPA, Arcoverde, Pernambuco, Brasil	<i>O. robusta</i> var. <i>larreyi</i> (F.A.C.Weber) Bravo

Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático do município é Bsh (semiárido e quente), com umidade relativa do ar em torno de 68% e temperaturas médias anuais em torno de 30 °C, com déficit hídrico durante quase todo ano (Alvares et al., 2013).

O experimento foi conduzido em condições de campo, em Luvisolo Crômico (Santos et al., 2018), com os seguintes atributos químicos: pH de 6,0; 23,03 mg dm⁻³ de P; 153,76 mg dm⁻³ de K⁺; 6,07 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 3,45 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0,16 cmol_c dm⁻³ de Na⁺; 2,49 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 0,05 cmol_c dm⁻³ de Al³⁺; soma de bases de 10,07 cmol_c dm⁻³; 12,57 cmol_c dm⁻³ de CTC, saturação por bases de 61,5% e 16,36 g kg⁻¹ de matéria orgânica.

O plantio foi realizado em março de 2021, sendo selecionadas raquetes saudáveis e vigorosas. Após a colheita, estas permaneceram na sombra por 07 dias para a cura e foram posteriormente plantadas (Figura 1A e 1B). O manejo de plantas daninhas no campo experimental foi realizado como uso de capinas manuais e herbicida.

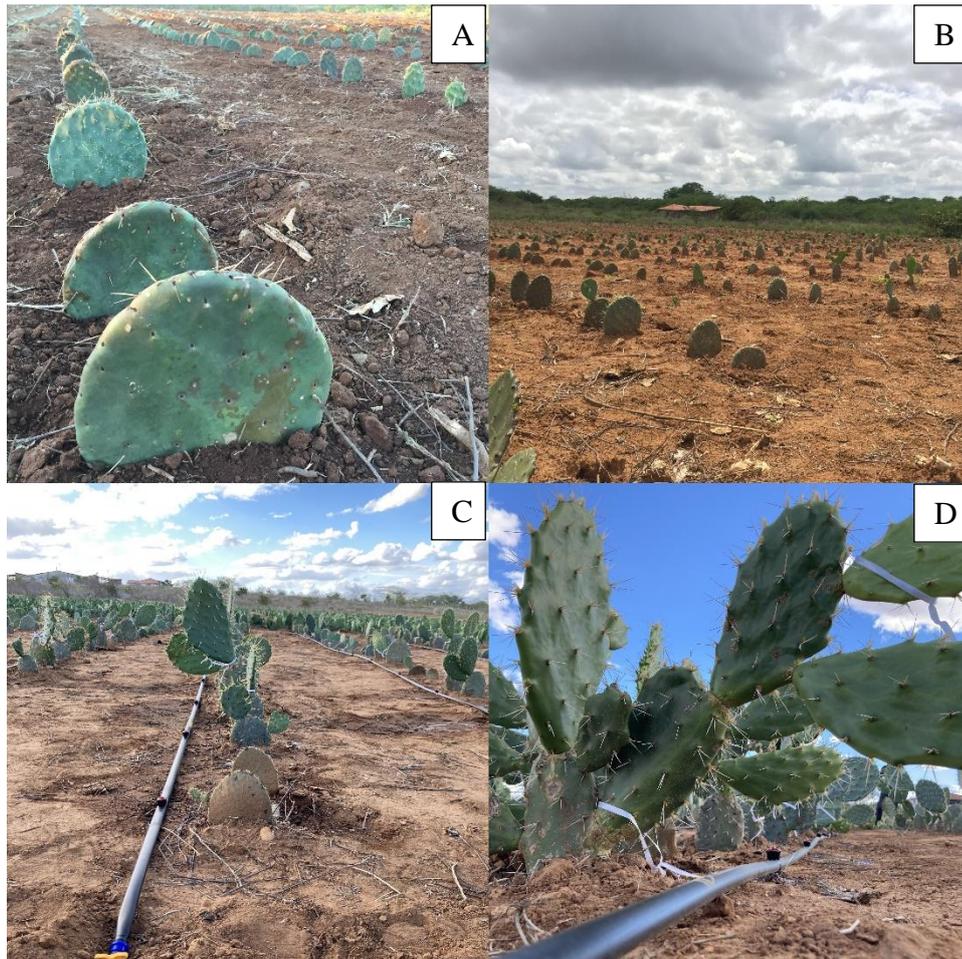


Figura 1 – Acessos recém plantados (A), acessos um mês após o plantio (B), detalhe do sistema de irrigação (C) e acesso 49 aos 180 dias após o plantio (D).

Aos 60 dias após o plantio (DAP) foi realizada uma adubação em função dos atributos químicos do solo e da respectiva recomendação sugerida para essa cultura, com base em Santos et al. (2008).

De modo a minimizar os efeitos da sazonalidade pluviométrica no desenvolvimento inicial dos acessos em estudo, utilizou-se um sistema de irrigação suplementar (Figura 1C e 1D). Para tanto, aplicou-se uma lâmina mensal de 5,0 litros por parcela, sendo este montante dividido em aplicações a cada 15 dias, iniciando-se a partir de 120 dias após o plantio. Utilizou-se gotejamento convencional, com eficiência de 95%, pressão de serviço de 0,2 MPa, e fita gotejadora de 15 mm de diâmetro nominal com vazão de $5 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, com um gotejador para cada duas plantas. A água utilizada para irrigação apresentava as seguintes características: pH de 7,7; $2,25 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica; $16,60 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de cloreto; $3,87 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Ca^{2+} ; $5,85 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Mg^{2+} ; $0,18 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de K^{+} ; $10,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Na^{+} ; $0,20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de CO_3^{2-} ; $4,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de HCO_3^{-} , sendo classificada como C3S2.

Ao longo do período experimental (180 dias) a precipitação acumulada foi de 91,7 mm, e os eventos de irrigação complementar somaram 12,5 mm. Totalizando assim, 104,2 mm ao longo deste período. Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos por meio de pluviômetro instalado na Estação Experimental.

Aos 180 dias após o plantio, as duas plantas da parcela experimental foram usadas para a realização das análises morfológicas e biométricas. A altura (AP), largura (LP), número total de cladódios por planta (NCP), número de total de cladódios de primeira ordem (NC1), de segunda ordem (NC2), até “n” ordens, assim como a largura (LC), comprimento (CC), perímetro (PC) e espessura (EC) dos cladódios foram mensurados, conforme a ordem de surgimento dos mesmos na referida ramificação. A taxa de sobrevivência foi medida dividindo-se o número de plantas vivas pelo número total de plantas iniciais de cada acesso, expressa em porcentagem.

A área dos cladódios (AC) foi estimada com os dados obtidos de largura e comprimento dos cladódios, conforme metodologia proposta por García-Cortázar e Nobel (1991). A partir da área do cladódio e do espaçamento entre as fileiras e entre as plantas, foi estimado o índice de área do cladódio ($IAC\ m^2.m^{-2}$) conforme proposto por Pinheiro et al. (2014).

A estimativa da produtividade de matéria fresca dos acessos foi determinada de forma não destrutiva, segundo a metodologia proposta por Menezes et al. (2005), determinando-se inicialmente a massa média dos cladódios. Posteriormente, a massa média dos cladódios foi multiplicada pelo número médio de cladódios por planta e pelo número de plantas por hectare, obtendo-se assim, a produtividade estimada de matéria fresca em $t\ ha^{-1}$.

Para as análises de trocas gasosas, foram mensuradas a condutância estomática (g_s) ($mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), transpiração (E) ($mmol\ de\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$), taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu mol\ de\ CO_2\ mol^{-1}$). A partir desses dados, foram calculadas a eficiência instantânea de uso da água (EUA), com base na relação da taxa fotossintética com transpiração (A/E); eficiência intrínseca do uso de água ($EiUA$) relacionando a taxa fotossintética com condutância estomática (A/g_s); e eficiência instantânea de carboxilação (EiC_i), relacionando a taxa fotossintética com a concentração de carbono interno (A/C_i).

Visto que as espécies de *Opuntia* possuem metabolismo CAM (metabolismo do ácido crassuláceo), as medições de trocas gasosas foram realizadas no período noturno, entre às 22h00 e 24h00 (Souza et al., 2020). Essas medições foram realizadas em um cladódio maduro por planta, em três plantas por tratamento. Foi utilizada uma câmara foliar de $6,25\ cm^2$, RFA

(radiação fotossinteticamente ativa) desligada e pinça adaptada ao cladódio. Um analisador portátil de gás por infravermelho (IRGA)(ADC, modelo LCpro-SD, Hoddesdon, UK) foi utilizado para realizar as avaliações.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e, em seguida, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores de número de cladódios, índice de área de cladódio, biomassa fresca de cladódio e produtividade de matéria fresca foram transformados para $\log(x+2)$, já a sobrevivência foi transformada em arco seno. Uma análise de componentes principais (ACP) também foi empregada. As análises foram realizadas por meio do software R 4.1 (R Development Core Team, 2019).

RESULTADOS

Observou-se elevada variabilidade para as variáveis morfológicas dos acessos em estudo (Figura 2), obtendo-se diferenças significativas entre esses materiais ($p < 0,01$). Para a altura de plantas, os acessos demonstraram desempenhos distintos, com a formação de quatro agrupamentos. Os acessos 75 e 91 se destacaram com médias de altura superior a 48,0 cm; em contraste, valores inferiores a 26,0 cm foram obtidos nos acessos 46, 58, 60, 64 e 110 (Figura 2A).

Plantas com maior largura ($>49,0$ cm) foram obtidas com os acessos 49 e 75 (Figura 2B). Os acessos 47, 48, 91 e 100 proporcionaram desempenho intermediário, com plantas com largura entre 38,5 e 45,5 cm. Larguras de planta inferiores a 31,0 cm foram observadas nos demais acessos.

Os acessos 49 e 60 alcançaram maior número de cladódios, com médias de 14,5 e 11,21 unidades, respectivamente (Figura 2C). Todavia, acessos com menos de 06 cladódios foram predominantes.

Aos 180 dias após o plantio, o acesso 49 atingiu um índice de área de cladódio (IAC) de $0,59 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, sobressaindo-se perante os demais para essa variável (Figura 2D). Dos 15 acessos, 10 (46, 47, 51, 58, 60, 64, 83, 94, 110 e 115) alcançaram IAC inferior a $0,21 \text{ m} \cdot \text{m}^{-2}$, evidenciando-se os diferentes padrões de crescimento presentes nesses materiais.

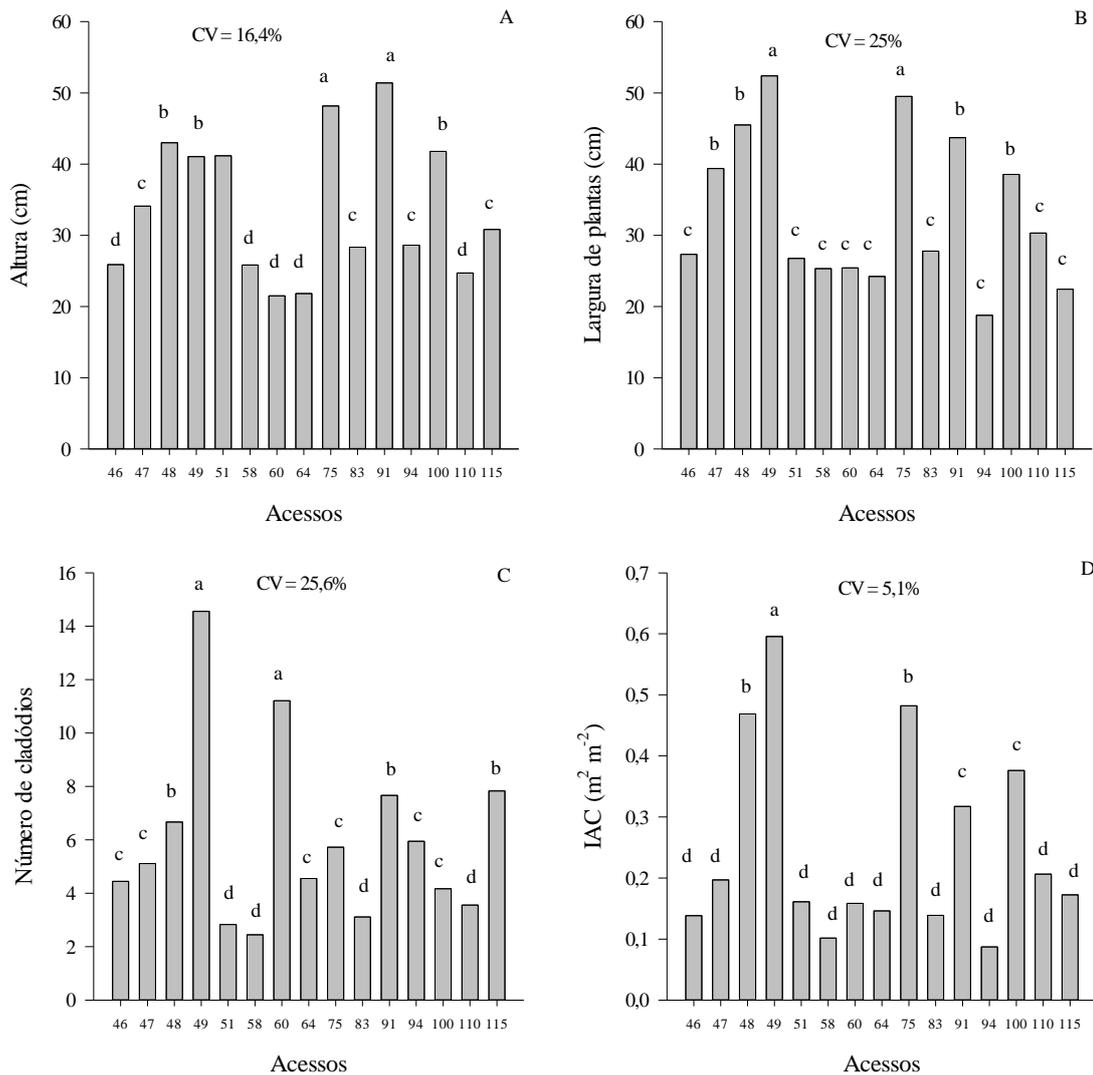


Figura 2 – Altura (A), largura (B), número de cladódios (C) e índice de área de cladódios (IAC)(D) de acessos de *Opuntia* aos 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Ressalta-se que, mesmo dentro de uma mesma espécie, observou-se aspectos morfológicos distintos entre os acessos, como, por exemplo, para *Opuntia joconostle*, representada pelos acessos 91 e 94, e que alcançaram padrões díspares para a altura (Figura 2A), largura (Figura 2B), número de cladódios (Figura 2C) e IAC (Figura 2D).

Os acessos de *Opuntia* atingiram altas taxas de sobrevivência aos 180 dias, demonstrando a adaptabilidade e rusticidade desses materiais, com exceção do acesso 60 que diferiu estatisticamente ($p < 0,01$) dos demais e alcançou uma taxa de sobrevivência inferior a 80% (Figura 3A).

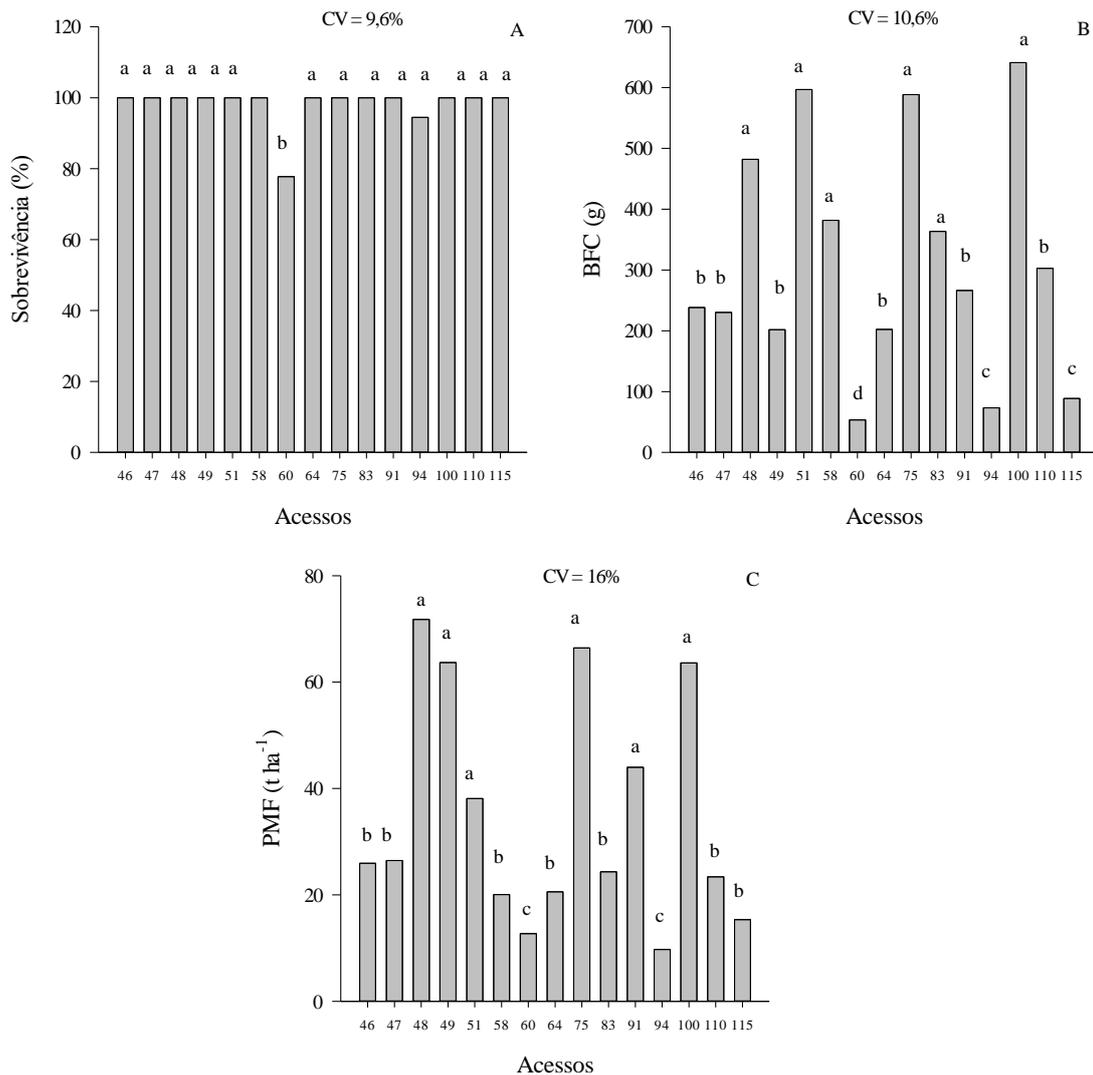


Figura 3 – Sobrevivência (A), biomassa fresca de cladódio (BFC) (B) e estimativa da produtividade de matéria fresca (PMF) (C) de acessos de *Opuntia* aos 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Biomassa fresca de cladódio (BFC) entre 640,9 e 363,5 gramas foi obtida para os acessos 48, 51, 58, 75, 83 e 100, que se igualaram estatisticamente e foram superiores ($p < 0,01$) aos demais acessos para essa variável (Figura 3B). BFC inferiores a 100 gramas também foram observadas e se agruparam em dois clusters (c e d). No cluster c, agruparam-se os acessos 94 e 115, com BFC entre 88,8 e 76,2 g; já no d, visualiza-se o acesso 60, com BFC de 51,41 g.

Os valores de estimativa da produtividade de matéria fresca (PMF) demonstraram diferenças entre os acessos ($p < 0,01$) e variaram de 10,49 a 71,7 t.ha⁻¹. Seis acessos (48, 49, 51, 75, 91 e 100) atingiram as maiores médias de PMF, não diferindo estatisticamente entre si, com

amplitude de produtividade de 38,11 a 71,7 t.ha⁻¹ (Figura 3C). Os piores rendimentos foram obtidos com os acessos 60 e 94, com PMF inferior a 13,06 t.ha⁻¹.

Com relação às trocas gasosas, diferenças significativas ($p < 0,01$) foram detectadas para os acessos de *Opuntia*, com exceção da concentração interna de CO₂ (*Ci*) e da condutância estomática (*gs*). Todavia, de modo geral, menor variabilidade foi obtida para essas variáveis quando comparadas com os aspectos morfológicos e produtivos.

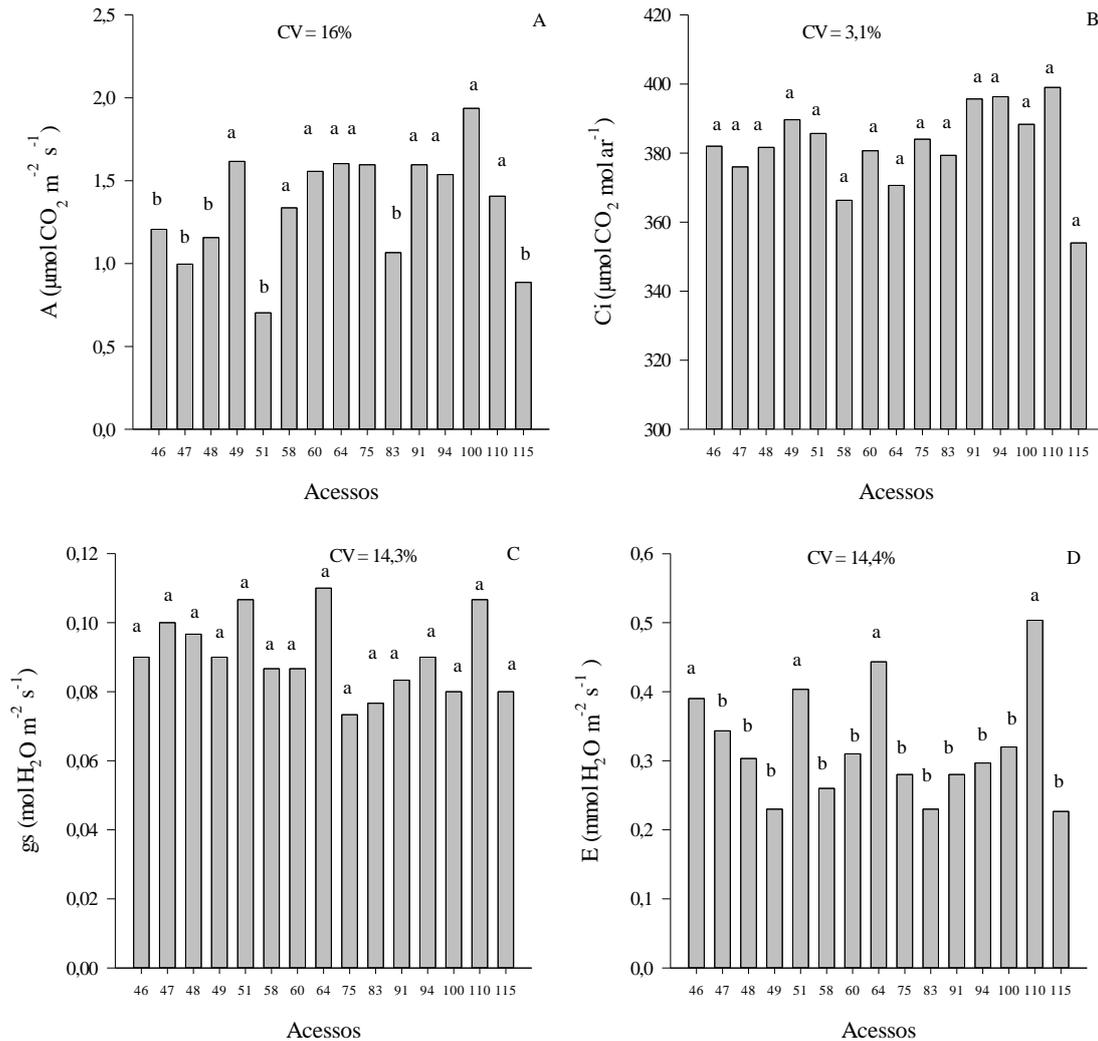


Figura 4 – Taxa de captação de CO₂ (*A*), concentração interna de CO₂ (*Ci*)(*B*), condutância estomática (*gs*)(*C*) e transpiração (*E*) (*D*) de acessos de *Opuntia* aos 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para a taxa de captação de CO₂ (*A*), obteve-se valores máximos de 1,93 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹ e mínimos de 0,70 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹ (Figura 4A). Dois clusters foram formados, com os acessos 49, 58, 60, 64, 75, 91, 94, 100 e 110 se agrupando com os maiores valores de *A*.

Diferentemente, para a concentração interna de CO_2 (C_i), diferença estatística entre os acessos não foi observada, com amplitude de C_i de 354 a 399 μmol de CO_2 mol ar^{-1} (Figura 4B).

A condutância estomática (g_s) também não foi influenciada significativamente pelos acessos, com valores máximos de 0,11 mol H_2O m^{-2} s^{-1} (Figura 4C). Maiores valores de transpiração (E) foram observados nos acessos 46, 51, 64 e 110, com E superior a 0,39 mmol de H_2O m^{-2} s^{-1} (Figura 4D).

Os acessos 49, 58, 60, 75, 83, 91, 94 e 100 alcançaram eficiência instantânea de uso da água (EUA) variando de 4,75 a 7,03 μmol CO_2 (mmol H_2O) $^{-1}$, não diferindo entre si e estatisticamente superiores aos demais acessos (Figura 5A), no qual a EUA foi inferior a 3,86 μmol CO_2 (mmol H_2O) $^{-1}$.

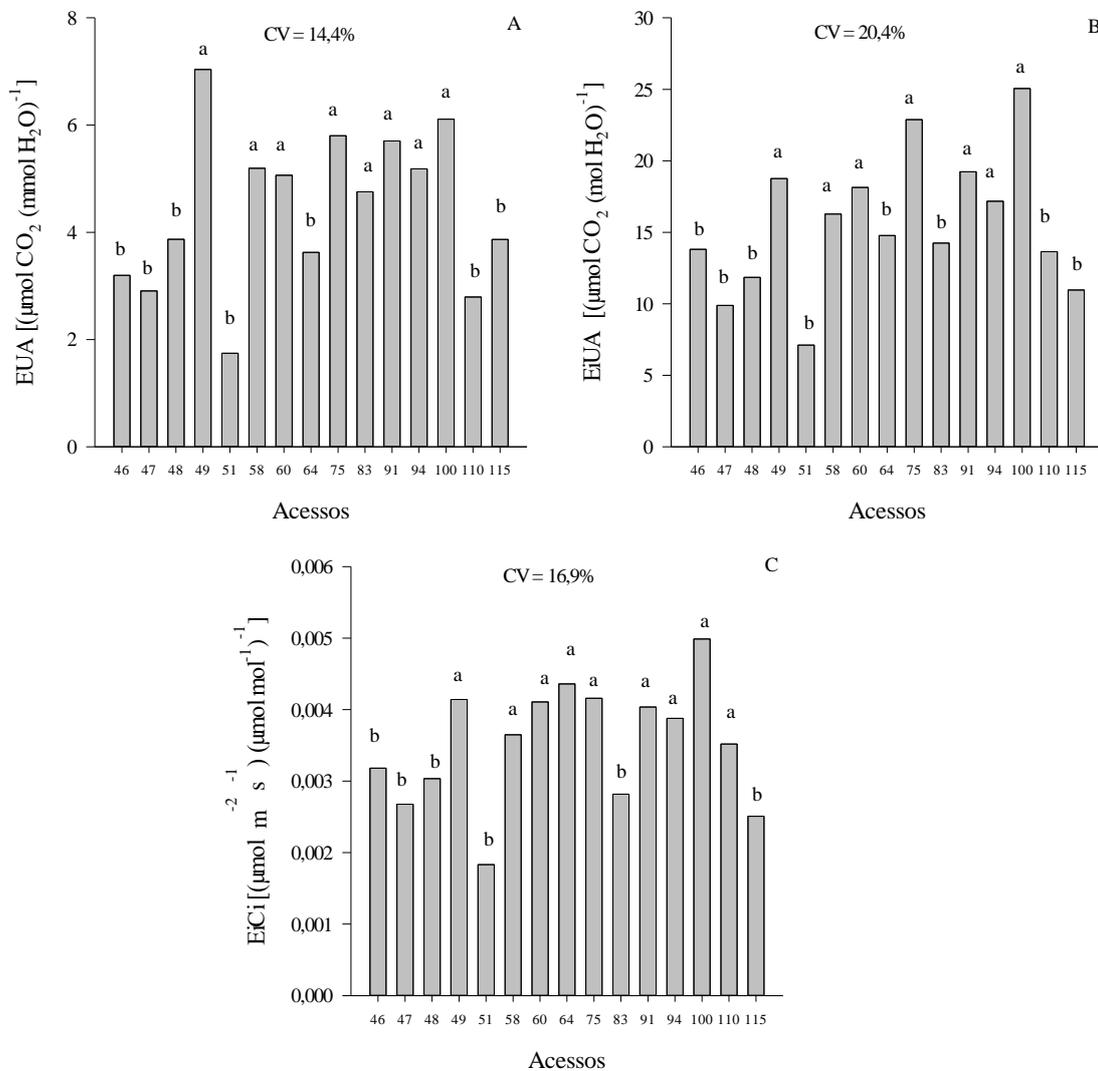


Figura 5 – Eficiência instantânea de uso da água (EUA)(A), eficiência intrínseca do uso de água ($EiUA$)(B) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC)(C) de acessos de *Opuntia* aos 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Maiores valores de eficiência intrínseca do uso de água (*EiUA*) foram obtidos nos acessos 49, 58, 60, 75, 91, 94 e 100, com *EiUA* entre 16,27 e 25,05 $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$ (Figura 5B). Já para a eficiência de carboxilação instantânea (*EiCi*), nove acessos (49, 58, 60, 64, 75, 91, 94, 100 e 110) se destacaram estatisticamente perante os demais, com *EiCi* superior a 0,00352 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ (Figura 5C).

A análise de componentes principais (ACP) explicou 63,2% da variância original dos dados em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2) (Figura 6).

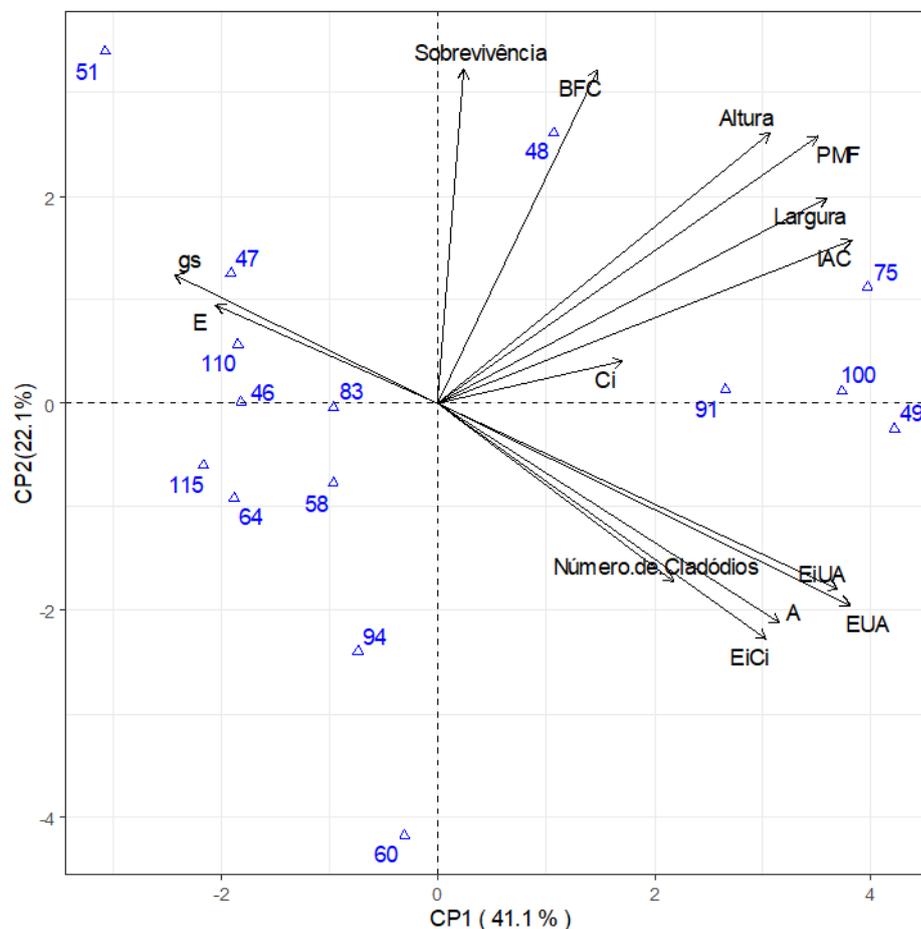


Figura 6 – Dispersão gráfica biplot de 15 acessos de *Opuntia* baseada em escores de 14 caracteres de crescimento, produtividade e trocas gasosas, representados pelos dois primeiros componentes principais.

No eixo 1, responsável por agrupar 41,1% da explicação dos dados, observou-se associação significativa entre IAC ($r = 0,84$; $p < 0,01$), *EUA* ($r = 0,84$; $p < 0,01$), *EiUA* ($r = 0,82$; $p < 0,01$), *Largura* ($r = 0,79$; $p < 0,01$), *PMF* ($r = 0,77$; $p < 0,01$), *A* ($r = 0,70$; $p < 0,01$) ($r = 0,84$; $p < 0,01$), *Altura* ($r = 0,68$; $p < 0,01$) ($r = 0,84$; $p < 0,01$) e *EiCi* ($r = 0,67$; $p < 0,01$), que contrastaram

com o g_s ($r = -0,54$; $p < 0,05$). Resultados que demonstram que acessos de *Opuntia* que possuem maior largura, altura e índice de área de cladódio, possuem maiores taxas de captação de CO_2 , de eficiência instantânea de uso da água, de eficiência intrínseca do uso de água e de eficiência de carboxilação instantânea, além de menor condutância estomática, e alcançam maiores produtividades de matéria fresca. Ainda para o eixo 1, destacam-se os acessos 49, 75, 91 e 100, que alcançaram o melhor desempenho geral para as variáveis morfológicas, produtivas e fisiológicas.

No eixo 2 da ACP, que reuniu 22,1% da variância dos dados, observou-se associação significativa de BFC ($r = 0,71$; $p < 0,01$) com a Sobrevivência ($r = 0,71$; $p < 0,01$). Resultados que demonstram que acessos com cladódios mais pesados detêm também maior taxa de sobrevivência, e vice-versa, como observado para os acessos 60 e 94, que se destacaram por possuir cladódios com menor biomassa e com ocorrência de mortalidade de plantas.

DISCUSSÃO

O estudo se deu nas condições do Semiárido Paraibano e decorridos 180 dias após o plantio (DAP), foram analisados os aspectos morfológicos, produtivos e fisiológicos de 15 acessos de *Opuntia* com resistência à falsa cochonilha do carmim. Os resultados demonstraram a elevada variabilidade desses materiais, principalmente quanto à morfometria e produtividade.

Acessos de *Opuntia* com maior altura, como o 75 e o 91, bem como de maior largura, como o 49 e 75 são desejáveis, visto que, essas características estão diretamente correlacionadas com a produtividade (Ramos et al., 2021; Kumar et al., 2022). Além disso, plantas de maior altura funcionam como uma barreira contra o vento (Kumar et al., 2022) e plantas mais largas tendem a possuir maior número de cladódios (Ramos et al., 2021).

A determinação do padrão de crescimento vertical e horizontal desses acessos é particularmente importante para a determinação do espaçamento de plantio (Edvan et al., 2020; Ramos et al., 2021). Dessa forma, acessos de *Opuntia* com maior altura, como o 91, podem ser plantados com menor espaçamento, visto que esse padrão de crescimento não limita o desenvolvimento das outras plantas, tampouco o manejo do palmar, propiciando ainda, aumento da produtividade. Já para acessos de maior largura, como o 49 e 75, recomenda-se o cultivo com maior espaçamento entre plantas, visando evitar a competição por água, luz e nutrientes, além de facilitar o manejo da cultura (Edvan et al., 2020; Ramos et al., 2021).

O acesso 49 atingiu ainda, junto com o acesso 60, maior número de cladódios. Na medida que uma planta aumenta seu acúmulo de biomassa, é necessária uma expansão dos tecidos,

implicando no surgimento de novos cladódios (Ramos et al., 2021). No entanto, para que esse aumento seja refletido em maiores produtividades de biomassa, é necessário que esteja associado com outras variáveis, como a altura ou largura da planta (Ramos et al., 2021; Kumar et al., 2022). Dessa forma, esses acessos podem produzir maior biomassa do que aqueles com menos cladódios (Pinheiro et al., 2014; Kumar et al., 2022). Ainda, um maior número de cladódios pode propiciar aumento na atividade fotossintética (Neupane et al., 2021; Kumar et al., 2022), aumento na capacidade de armazenamento de água (Ramos et al., 2021), e em um maior índice de área de cladódios, o que, por sua vez, resulta em maior produção de biomassa (Neupane et al., 2021).

O número de cladódios detém mais que relevância morfofisiológica, visto que, considerando que acessos de *Opuntia* são geralmente propagados por cladódios inteiros, acessos que possuem maior número dessas estruturas, como, por exemplo, o acesso 49, são mais fáceis de serem multiplicados em novos campos de produção ou para multiplicação de variedades e/ou clones obtidos por programas de melhoramento (Amorim et al., 2015).

O maior índice de área de cladódio (IAC) obtido pelo acesso 49 é um indicativo do seu maior potencial de produção de biomassa e de matéria seca, dado que, essa variável representa uma característica morfométrica comumente utilizada como indicador de produtividade em *Opuntia* (Pinheiro et al., 2014). Acessos com menor IAC, como o 46, 47, 51, 58, 60, 64, 83, 94, 110 e 115, tendem a possuir maior sensibilidade à competição por recursos abióticos com plantas daninhas, visto que o solo não será coberto de forma tão eficiente, requerendo assim, maior frequência de capinas (Amorim et al., 2015).

A seleção de acessos pautada em características morfológicas superiores demonstra ser uma estratégia apropriada para o aumento da produção de biomassa de *Opuntia* em áreas semiáridas (Kumar et al., 2022). As diferenças verificadas nos aspectos morfométricos de acessos dentro de uma mesma espécie, como nos acessos 91 e 94, podem ser o resultado da variabilidade genética inerente às espécies de *Opuntia*, ou ainda, de fatores ecológicos do local de cultivo (Azizi-Gannouni et al., 2020).

A sobrevivência de acessos de *Opuntia* nas condições do Semiárido Paraibano foi superior a estudos em outras regiões semiáridas do mundo, como, por exemplo, em Jhansi, na Índia, onde de 15 acessos de *Opuntia* introduzidos, e com uso de irrigação de sobrevivência, apenas 03 acessos alcançaram taxas de sobrevivência de 100% (Kumar et al., 2022).

Cladódios mais pesados possuem maior capacidade de armazenamento de água (Ramos et al., 2021). Dessa forma, como demonstrando no eixo 2 da ACP, essa é uma variável que

exibe associação positiva com a sobrevivência, de modo que, cladódios com menor peso, como os presentes nos acessos 60 e 94 possuem maior suscetibilidade a eventos de estresse hídrico, no qual há uma redução da turgidez do cladódio, além de mudança na coloração e enrugamento, o que pode culminar com abscisão de cladódios ou mortalidade da planta (Campos et al., 2021).

Os valores estimados de produção de matéria fresca obtidos para alguns dos acessos deste estudo são animadores, especialmente para os acessos 48, 49, 75 e 100, que alcançaram estimativas de biomassa superiores a 60 t ha^{-1} . Nas condições do Semiárido Brasileiro, a produtividade de *Opuntia* é variável e dependente da variedade, das condições edafoclimáticas e do manejo utilizado (Amorim et al., 2015; Edvan et al., 2020; Campos et al., 2021). Por exemplo, Edvan et al. (2020) em 07 regiões do sul do estado do Piauí, com precipitação pluviométrica acumulada de 873,5 a 1.000,4 mm e 02 genótipos de *O. cochenillifera* (L.) Salm Dyck subgênero *Nopalea* e 1 genótipo de *O. stricta* Haw., obtiveram produtividade média anual de biomassa de 30,9 a $266,9 \text{ t ha}^{-1}$. Também para *O. stricta*, importante substituta de *O. ficus-indica* nos palméis nordestinos, Queiroz et al. (2015) reportam produção de biomassa de 135,43 toneladas t ha^{-1} quando da aplicação de lâmina complementar à precipitação, totalizando 976,0 mm em um ciclo de 380 dias após o corte.

Ressalta-se que os resultados deste estudo foram obtidos aos 180 dias após o plantio e com um somatório de precipitação e irrigação complementar de apenas 104,2 mm. O que demonstra que a produção de biomassa poderia ser ainda maior se recursos hídricos em quantidade estivessem disponíveis.

Informações quanto as trocas gasosas de *Opuntia* ainda estão restritas a algumas espécies, com destaque para *O. ficus-indica* (L.) Mill. (Pimienta-Barrios et al., 2012; Liguori et al., 2013) e *O. cochenillifera* (L.) Salm Dyck subgênero *Nopalea* (Souza et al., 2020; Araújo et al., 2022). Nesse sentido, os resultados contribuem para ampliar o conhecimento acerca dos aspectos fisiológicos desse gênero, principalmente em acessos com grande quantidade de espinhos, como no caso da maioria dos materiais aqui estudados.

De modo geral, as variáveis de trocas gasosas dos acessos avaliados se mostraram inferiores aos valores reportadas na literatura para outras espécies de *Opuntia*. Por exemplo, valores de captação de CO_2 (A) de até $15 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ são reportados para *O. ficus-indica* (Pimienta-Barrios et al., 2012). Enquanto Souza et al. (2020) com *O. cochenillifera* subgênero *Nopalea* cultivada com cobertura morta, obtiveram captação de CO_2 (A) de até $6 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Resultados que atestam diferentes padrões de trocas gasosas para esse gênero.

Os valores de captação de CO₂ dos acessos se assemelham aos verificados em cactos selvagens, como, por exemplo, saguaro *Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britt. & Rose, em que a assimilação (A) de até 1,65 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹ é reportada (Bronson et al., 2011). Ainda, resultados similares aos aqui obtidos foram verificados para a variedade Miúda de *O. cochenillifera* subgênero *Nopalea* durante a estação seca do ano, principalmente quanto a Captação de CO₂, Transpiração (E), Concentração Interna de CO₂ (Ci), Eficiência Instantânea de Uso da Água (EUA) e Eficiência Intrínseca do Uso de Água (EiUA) (Araújo et al., 2022).

De fato, a lâmina de irrigação complementar não supriu adequadamente as necessidades hídricas dos acessos, refletindo em menor desempenho fisiológico, expresso principalmente nos valores de transpiração e condutância estomática (Yang et al., 2021). No entanto, ainda que diante dessa condição limitante, e como expresso no eixo 1 da ACP, os acessos 49, 75, 91 e 100 alcançaram maiores taxas de captação de CO₂, de eficiência instantânea de uso da água, de eficiência intrínseca do uso de água e de eficiência de carboxilação instantânea, mesmo com menor condutância estomática. Estabilidade na captação de CO₂ mesmo com uma menor condutância estomática também já foi observada por Souza et al. (2020) em *O. cochenillifera* subgênero *Nopalea*.

O melhor desempenho geral dos acessos 49, 75, 91 e 100 derivou principalmente de seu maior Índice de Área de Cladódio (IAC), visto que conseguem armazenar uma maior quantidade de água no parênquima durante os períodos de maior disponibilidade hídrica e usam esse recurso para a manutenção das atividades fisiológicas no período seco (Araújo et al., 2022), o que irá refletir em maior acúmulo de biomassa e matéria seca (Pinheiro et al., 2014). No entanto, para o acesso 48, essas variáveis parecem não estar correlacionadas, visto que, embora esse acesso tenha alcançado bom desempenho morfológico e produtivo, bom desempenho fisiológico não foi obtido.

Os resultados obtidos neste estudo apontam que aos 180 após o plantio já é possível identificar acessos de *Opuntia* com características morfométricas, produtivas e fisiológicas superiores. Esses acessos, mesmo que em sua maioria possuam grande quantidade de espinhos, dificultando o seu manejo pelo produtor, podem ser utilizados em programas de melhoramento genético, visto que são geneticamente divergentes das variedades cultivadas atualmente no Semiárido do Brasil, e podem ampliar a base genética da cultura (Almeida et al., 2019).

CONCLUSÕES

Este estudo identificou acessos de *Opuntia* com desempenho vegetativo, produtivo e fisiológico superior. Nossos resultados mostram que esses acessos possuem grande variabilidade nos aspectos morfométricos e produtivos, sendo observada uma menor variabilidade para as trocas gasosas. Acessos como 48, 49, 75, 91 e 100 podem ser utilizados em ações de melhoria da produtividade dos palmais brasileiros.

REFERÊNCIAS

- ABOUSEADAA, H. H.; ATIA, M. A.; YOUNIS, I. Y.; ISSA, M. Y.; ASHOUR, H. A.; SALEH, I.; OSMAN, G. H.; ARIF.; I. A; MOHSEN, E. Gene-targeted molecular phylogeny, phytochemical profiling, and antioxidant activity of nine species belonging to family Cactaceae. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 6, p. 1649-1658, 2020.
- ALMEIDA, I. V. B.; SOUZA, J. T. A.; BATISTA, M. C. Melhoramento genético de plantas forrageiras xerófilas: Revisão. **PUBVET**, v. 13, n. 8, p. e382, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMORIM, P. L. D.; MARTUSCELLO, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. T. D.; CUNHA, D. D. N. F. V. D.; JANK, L. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 230-238, 2015.
- ARAÚJO, J. S.; SOUZA, J. T. A.; FÉLIX, E. S.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; LIRA, E. C. Gas exchange in genotypes of *Nopalea cochenillifera* in different seasons and evaluations times. **Acta Botanica Croatica**, v. 81, n. 2, p. e 275124, 2022.
- AZIZI-GANNOUNI, T.; AMMARI, Y.; BOUDHINA, S.; ALBOUCHI, A. Assessment and Identification of Cactus (*Opuntia* spp.) Ecotypes Grown in a Semi-arid Mediterranean Region. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 23, n. 3, p. 351-364, 2020.
- BRONSON, D. R.; ENGLISH, N. B.; DETTMAN, D. L.; WILLIAMS, D. G. Seasonal photosynthetic gas exchange and water-use efficiency in a constitutive CAM plant, the giant saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*). **Oecologia**, v. 167, n. 3, p. 861-871, 2011.
- CAMPOS, A. R. F.; SILVA, A. J. P.; VAN LIER, Q. D. J.; NASCIMENTO, F. A. L.; FERNANDES, R. D. M.; ALMEIDA, J. N.; PAZ, V. P. S. Yield and morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. **Journal of Arid Environments**, v. 193, p. e104564, 2021.
- DUBEUX JÚNIOR; J. C. B.; 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. 257, p. 114890, 2021.
- EDVAN, R. L.; MOTA, R. R. M.; DIAS-SILVA, T. P.; NASCIMENTO, R. R.; SOUSA, S. V.; SILVA, A. L.; ARAÚJO, M. J.; ARAÚJO, J. C. Resilience of cactus pear genotypes in a

tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, e10040, 2020.

FERNANDES, B. D. O.; QUEIROGA, R. C. R. E.; COSTA, R. G. D.; SILVA, D. S. D.; MACIEL, M. D. L.; RAMOS, A. O.; MEDEIROS, A. N. Spineless cactus varieties resistant to carmine cochineal (*Dactylopius* sp.) on the composition and sensory properties of goat milk. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 43, e25, 2021.

GARCÍA-CORTÁZAR, V.; NOBEL, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 56, p. 261-272, 1991.

KÖHLER, M.; OAKLEY, L. J.; FONT, F.; PEÑAS, M. L. L.; MAJURE, L. C. On the continuum of evolution: a putative new hybrid speciation event in *Opuntia* (Cactaceae) between a native and an introduced species in southern South America. **Systematics and Biodiversity**, v. 19, n. 8, p. 1026-1039, 2021.

KUMAR, S.; PALSANIYA, D. R.; KUMAR, T. K.; MISRA, A. K.; AHMAD, S.; RAI, A. K.; SARKER, A.; LOUHAICHI, M.; HASSAN, S.; LIGUORI, G.; GHOSH, P. B.; GOVINDASAMY, P.; MAHAWER, S. K.; BHARGAVI, H. A. Survival, morphological variability, and performance of *Opuntia ficus-indica* in a semi-arid region of India. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 2022, p. 1-18, 2022.

LIGUORI, G.; INGLESE, G.; PERNICE, F.; SORTINO, G.; INGLESE, P. CO₂ uptake of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. **Italian Journal of Agronomy**, v. 8, n. 1, p. e3, 2013.

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. 258p.

NEUPANE, D.; MAYER, J. A.; NIECHAYEV, N. A.; BISHOP, C. D.; CUSHMAN, J. C. Five-year field trial of the biomass productivity and water input response of cactus pear (*Opuntia* spp.) as a bioenergy feedstock for arid lands. **GCB Bioenergy**, v. 13, n. 4, p. 719-741, 2021.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F. D.; CARVALHO, H. F. D. S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F. D.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. D. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014.

PIMIENTA-BARRIOS, E.; HERNÁNDEZ, J. Z.; MUÑOZ-URIAS, A.; ROBLES-MURGUÍA, C. Ecofisiología de tallos jóvenes (cladodios) de *Opuntia ficus-indica* en condiciones húmeda y seca. **Gayana. Botánica**, v. 69, n. 2, p. 232-239, 2012.

QUEIROZ, M.G; SILVA, T.G.F; ZOLNIER, S; SILVA, S.M.S; LIMA, L.R; ALVES, J.O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.931–938, 2015.

- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2019. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 de maio de 2022.
- RAMOS, J. P. F.; MACÊDO, A. J. S., SANTOS, E. M., EDVAN, R. L.; SOUSA, W. H.; PERAZZO, A. F.; SILVA, A. S.; CARTAXO, F. Q. Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, p. e51214, 2021
- REALINI, M. F.; GONZÁLEZ, G. E.; FONT, F.; PICCA, P. I.; POGGIO, L.; GOTTLIEB, A. M. Phylogenetic relationships in *Opuntia* (Cactaceae, Opuntioideae) from southern South America. **Plant Systematics and Evolution**, v. 301, n. 4, p. 1123-1134, 2015.
- ROSAS-REINHOLD, I.; PIÑEYRO-NELSON, A.; ROSAS, U.; ARIAS, S. Blurring the Boundaries between a Branch and a Flower: Potential Developmental Venues in CACTACEAE. **Plants**, v. 10, n. 6, p. e1134, 2021.
- SANTOS, D.; LIRA, M.; DUBEUX JÚNIOR, J.; SANTOS, M.; MELLO, A. Recomendação de adubação para a palma forrageira. In: F. CAVALCANTI (ed.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação**. Instituto Agrônomo de Pernambuco, Recife, 2008. p. 180.
- SILVA, R. C.; FERREIRA, M. A.; OLIVEIRA, J. C. V.; SANTOS, D. C.; GAMA, M. A. S.; CHAGAS, J. C. C.; INÁCIO, J. G.; SILVA, E. T. S.; PEREIRA, L. G. R. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) spineless cactus as an option in crossbred dairy cattle diet. **South African Journal of Animal Science**, v. 48, n. 3, p. 516-525, 2018.
- SIPANGO, N.; RAVHUHALI, K. E.; SEBOLA, N. A.; HAWU, O.; MABELEBELE, M.; MOKOBOKI, H. K.; MOYO, B. Prickly Pear (*Opuntia* spp.) as an Invasive Species and a Potential Fodder Resource for Ruminant Animals. **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. e3719, 2022.
- SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, J. S.; RAMOS, J. P. F.; NASCIMENTO, J. P.; MEDEIROS, L. T. V. Gas exchanges and water-use efficiency of *Nopalea cochenillifera* intercropped under edaphic practices. **Comunicata Scientiae**, v. 11, e3035, 2020.
- SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; RAMOS, J. P. F.; SOUSA, W. H.; ARAÚJO, J. S.; LIMA, G. F. C.; DIAS, J. A. Rendimento quântico e eficiência de uso da água de genótipos de palma forrageira no Semiárido brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 262, p. 268-273, 2019.
- TENORIO-ESCANDÓN, P.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, A.; FLORES, J.; JUAN-VICEDO, J.; MARTÍNEZ-FALCÓN, A. P. A Systematic Review on *Opuntia* (Cactaceae; Opuntioideae) Flower-Visiting Insects in the World with Emphasis on Mexico: Implications for Biodiversity Conservation. **Plants**, v. 11, n. 1, p. e131, 2022.
- TORRES, J. B.; GIORGI, J. A. Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): perspective from Pernambuco state, Brazil. **Phytoparasitica**, v. 46, n. 3, p. 331-340, 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.

YANG, X.; LU, M.; WANG, Y.; WANG, Y.; LIU, Z.; CHEN, S. Response mechanism of plants to drought stress. **Horticulturae**, v. 7, n. 3, p. e50, 2021.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E PRODUTIVA DE ACESSOS DE *Opuntia* spp. COM RESISTÊNCIA À *Dactylopius opuntiae*

RESUMO

O gênero *Opuntia* abriga espécies com relevante potencial para a produção de verduras e frutos para alimentação humana, além de utilização como recurso forrageiro para alimentação animal. A chegada de *Dactylopius opuntiae* em áreas produtoras de algumas espécies desse gênero levou a severas perdas produtivas, o que implicou na necessidade da busca de materiais com resistência a essa praga. Todavia, é necessário selecionar, dentro desses materiais, aqueles que possuem características agronômicas superiores. Nesse sentido, esse estudo objetivou realizar a caracterização morfológica e produtiva de 15 acessos de *Opuntia* com resistência à falsa cochonilha do carmim no Semiárido Brasileiro e, em especial, no Semiárido Paraibano. Foram avaliadas características relacionadas a morfologia das plantas, como altura e largura; e de cladódios, como biometria, peso, área e Índice de Área de Cladódio (IAC). Do ponto de vista produtivo, avaliou-se a produção de matéria verde, acúmulo de água e eficiência do uso da água. Os resultados demonstraram elevada variabilidade entre os acessos para as características em análise, havendo diferenças significativas entre esses materiais para todas as características avaliadas. A Análise de Componentes Principais (ACP) evidenciou que, para os acessos em estudo, os caracteres morfológicos, como altura e largura de plantas, bem como a área de cladódio e IAC, são diretamente relacionados com maior produção de matéria verde, acúmulo de água na planta e eficiência do uso da água. Os acessos 48, 49, 75, 91 e 100 se destacaram por atingir maior desenvolvimento morfológico e produção de matéria verde.

Palavras-Chave: domesticação; eficiência do uso da água; rusticidade produtiva; palma forrageira.

ABSTRACT

The genus *Opuntia* is home to species with significant potential for the production of vegetables and fruits for human consumption, in addition to use as a forage resource for animal feed. The arrival of *Dactylopius opuntiae* in areas producing some species of this genus led to severe production losses, which implied the need to search for materials with resistance to this pest. However, it is necessary to select among these materials those that have superior agronomic characteristics. In this sense, this study aimed to carry out the morphological and productive characterization of 15 accessions of *Opuntia* with resistance to the false carmine cochineal in the semiarid region of Brazil. Characteristics related to plant morphology were evaluated, such as height and width; and cladodes, such as biometrics, weight, area and IAC. From the productive point of view, the production of green matter, water accumulation and efficiency of water use were evaluated. The results showed high variability between accessions for the characteristics under analysis, with significant differences between these materials for all evaluated characteristics. Principal Component Analysis (PCA) showed that for the accessions under study, the morphological characters, such as height and width of plants, as well as the cladode area and IAC, are directly related to greater production of green matter, accumulation of water in the plant and water use efficiency. Accessions 48, 49, 75, 91 and 100 stood out for achieving greater morphological development and production of green matter.

Keywords: domestication; efficiency of water use; productive hardiness; prickly-pear.

INTRODUÇÃO

As Cactaceae são angiospermas dicotiledôneas com grande abundância em regiões áridas e semiáridas. Dentre os gêneros dessa importante família botânica, o gênero *Opuntia* se destaca por possuir espécies exploradas desde os tempos pré-hispânicos (Hadjkouider et al., 2017), o que se deve principalmente ao potencial de utilização dessas plantas para o consumo humano, que se dá pelo uso de seus cladódios tenros e jovens e de seus frutos (Comparetti et al., 2017; Reis et al., 2018), além da utilização como forragem animal (Comparetti et al., 2017; Ramos et al., 2021). Embora sejam nativas das Américas, espécies desse gênero foram introduzidas em outras regiões do globo, como Mediterrâneo, Oriente Médio, África do Sul, Índia, Tailândia e Austrália (Comparetti et al., 2017; Hadjkouider et al., 2017).

No Brasil, o uso de *Opuntia* se destina principalmente a alimentação animal em áreas com restrições hídricas, como na região Semiárida do país (Araújo et al., 2022, Batista et al., 2022). O uso para produção de frutos também é relatado, podendo se constituir como uma alternativa importante de geração de renda em uma região com problemas sociais acentuados (Nunes et al., 2017). A notável adaptação de espécies desse gênero a regiões com déficit hídrico se dá especialmente pelo seu processo fotossintético baseado no Metabolismo do Ácido Crassuláceo (CAM), no qual a captura do dióxido de carbono ocorre durante o período noturno, o que as tornam extremamente eficientes no uso da água (Edvan et al., 2020).

Nas últimas duas décadas, a proliferação da falsa cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) levou a dizimação de milhares de hectares de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, espécie, até então, predominante no Semiárido brasileiro, causando severas perdas econômicas para a agropecuária local (Giorgi et al., 2018) e forçando a tomada de medidas para reverter os problemas gerados pela chegada dessa praga (Batista et al., 2022).

Para o controle de *D. opuntiae* uma das principais estratégias recomendadas é a utilização de materiais com resistência a essa praga (Sabbahi & Hock, 2022). No entanto, além da identificação de genótipos com resistência, é preciso selecionar dentro desses materiais aqueles com características agronômicas desejáveis (Batista et al., 2022). Uma caracterização adequada dos aspectos morfológicos e produtivos de acessos de *Opuntia* é uma etapa importante para propiciar o uso adequado desses recursos genéticos por agricultores, pesquisadores e melhoristas (Adli et al., 2019).

Além disso, a partir da seleção de acessos com características superiores é possível iniciar o processo de domesticação desses materiais (Astello-García et al., 2015; López-Palacios &

Peña-Valdivia, 2020). O processo de seleção artificial por meio da triagem de indivíduos ou populações selvagens com características desejadas, gera atributos morfológicos que diferenciam esses novos indivíduos de seus parentes selvagens (López-Palacios & Peña-Valdivia, 2020). Comprovadamente, o efeito da domesticação em *Opuntia* reflete em atributos melhorados nos frutos e na produção de biomassa (Astello-García et al., 2015).

Nesse sentido, esse estudo objetivou realizar a caracterização morfológica e produtiva de 15 acessos de *Opuntia* com resistência à falsa cochonilha do carmim no Semiárido do Brasil, buscando-se assim, subsidiar estratégias de seleção e domesticação de acessos com características superiores.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, localizada no município de Soledade, Paraíba, Nordeste do Brasil. Realizou-se a seleção de 15 acessos (Tabela 1) pertencente ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de *Opuntia* spp. da referida instituição, conforme recomendação de pesquisas anteriores do programa de melhoramento genético da cultura desenvolvidos na Estação.

Tabela 1 – Acessos de *Opuntia* utilizados no estudo, pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG), da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, Soledade, Paraíba, Brasil.

Acesso	Nome	Origem	Espécie
46	Tapón pelón - T81	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	<i>O. robusta</i> Wendl.
47	Forrajero Cenizo - F27	Rancho M.R., Ramos Arizpe, Coahuila, México	<i>O. rzedowskii</i> Scheinvar
48	Camueso - T35	La Tinaja, San Diego de la Unión, Guanajuato, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
49	Blanco Valtierra - F48	Valtierrilla, Guanajuato, México	<i>O. atropes</i> Rose
51	Naranjona - T40	Rancho Las Papas, Zacatecas, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
58	Tapón	Nopalera UACH, Chapingo, México	<i>O. robusta</i> Wendl
60	Durasnillo - F25	La Pila, San Luis Potosí, México	<i>O. leucotricha</i> DC.
64	F Espinoso	Nopalera UACH, Chapingo, México	<i>Opuntia</i> sp.
75	Penca Alargado - F34	Vivero SEMARNAP, Saltillo, Coahuila, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
83	Espinoso Amarillo - F46	Rancho Bill Maltzberger, Cotulla, Texas	<i>O. robusta</i> Wendl
91	Aguamielilla Hgo. - T72	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	<i>O. joconostle</i> A. Web.
94	Xoconostle - T34	La Tinaja, San Diego de la Unión, Guanajuato, México	<i>O. joconostle</i> A. Web.
100	Tuna Morada - T80	Faculdade Agronomia, Marin, Nuevo León, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck

Acesso	Nome	Origem	Espécie
110	G9. IPA-100431 - Clone 9 OEA	IPA, Arcoverde, Pernambuco, Brasil	<i>O. undulata</i> Griffiths
115	G14. IPA-200149 - V19	IPA, Arcoverde, Pernambuco, Brasil	<i>O. robusta</i> var. <i>larreyi</i> (F.A.C.Weber) Bravo

A seleção das plantas foi pautada no potencial frutífero e na resistência à falsa cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* Cockerell, (1896). O cultivo dos 15 acessos foi realizado em delineamento de blocos casualizados, com nove repetições, sendo a parcela útil correspondente a duas plantas, espaçadas em 0,3 metros entre si, e de 0,5 metros entre parcelas. Cada bloco foi composto por uma linha, estando estas dispostas com um espaçamento de 1,5 metros entre si, totalizando uma população de 22.222 plantas por hectare. As bordaduras de contorno da área experimental foram constituídas por linhas plantadas com *O. stricta* Haw.

O plantio foi realizado em março de 2021, sendo selecionadas raquetes saudáveis e vigorosas. Após a colheita, estas permaneceram na sombra por 07 dias para a cura e foram, posteriormente, plantadas (Figura 1A e 1B). O manejo de plantas daninhas no Campo Experimental foi realizado como uso de capinas manuais e herbicida.

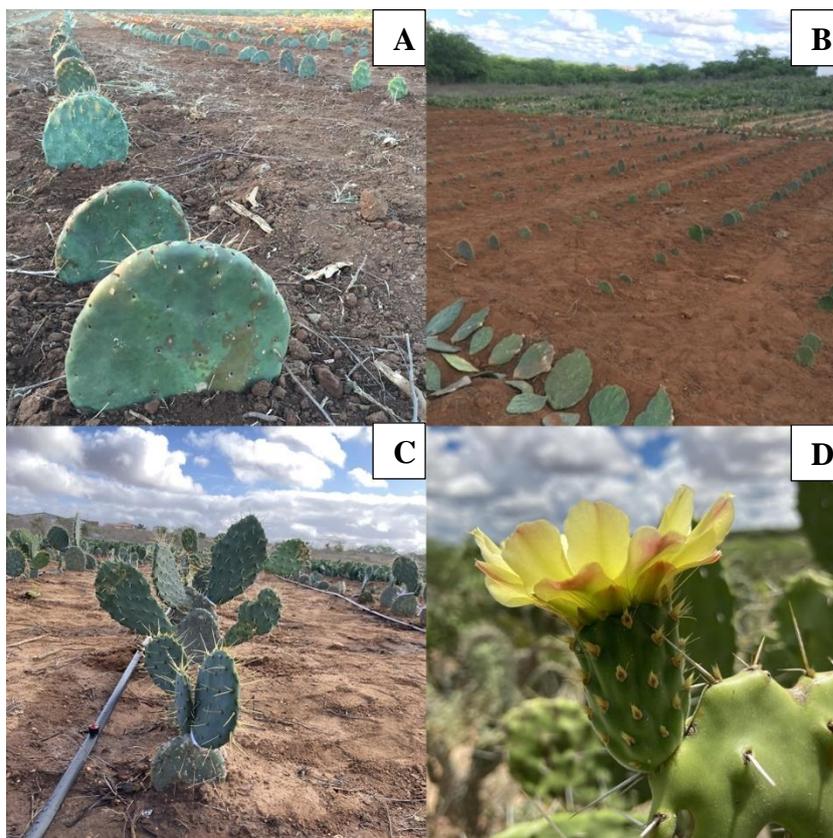


Figura 1 – Acessos recém-plantados (A), destaque da bordadura de contorno da área experimental (B), sistema de irrigação suplementar (C) e floração do acesso 49 (D).

Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático do município é Bsh (semiárido e quente), com umidade relativa do ar em torno de 68% e temperaturas médias anuais em torno de 30 °C, com déficit hídrico durante quase todo ano (Alvares et al., 2013).

O experimento foi conduzido em condições de campo, em Luvisolo Crômico (Santos et al., 2018), com os seguintes atributos químicos: pH de 6,0; 23,03 mg dm⁻³ de P; 153,76 mg dm⁻³ de K⁺; 6,07 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 3,45 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0,16 cmol_c dm⁻³ de Na⁺; 2,49 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 0,05 cmol_c dm⁻³ de Al³⁺; soma de bases de 10,07 cmol_c dm⁻³; 12,57 cmol_c dm⁻³ de CTC, saturação por bases de 61,5% e 16,36 g kg⁻¹ de matéria orgânica. Aos 60 dias após o plantio foi realizada adubação em função dos atributos químicos do solo e da respectiva recomendação sugerida para essa cultura, com base em Santos et al. (2008).

De modo a minimizar os efeitos da sazonalidade pluviométrica no desenvolvimento inicial dos acessos em estudo, utilizou-se um sistema de irrigação suplementar (Figura 1C). Para tanto, aplicou-se uma lâmina mensal de 5,0 litros por parcela, sendo este montante dividido em aplicações a cada 15 dias, iniciando-se a partir de 120 dias após o plantio. Utilizou-se gotejamento convencional, com eficiência de 95%, pressão de serviço de 0,2 MPa, e fita gotejadora de 15 mm de diâmetro nominal com vazão de 5 L h⁻¹ m⁻¹, com um gotejador para cada duas plantas. A água utilizada para irrigação apresentava as seguintes características: pH de 7,7; 2,25 dS m⁻¹ de condutividade elétrica; 16,60 mmol_c L⁻¹ de cloreto; 3,87 mmol_c L⁻¹ de Ca²⁺; 5,85 mmol_c L⁻¹ de Mg²⁺; 0,18 mmol_c L⁻¹ de K⁺; 10,0 mmol_c L⁻¹ de Na⁺; 0,20 mmol_c L⁻¹ de CO₃²⁻; 4,0 mmol_c L⁻¹ de HCO₃⁻, sendo classificada como C3S2.

Ao longo dos 365 dias do período experimental a precipitação acumulada foi de 257,1 mm, e os eventos de irrigação complementar somaram 27,5 mm. Totalizando assim, 284,6 mm ao longo deste período. Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos por meio de pluviômetro instalado na Estação Experimental.

Durante o decorrer do período experimental foram analisados o surgimento de estruturas reprodutivas (Figura 1D), o número dessas estruturas por planta, o abortamento de flores e o surgimento de frutos.

Aos 365 dias após o plantio, as duas plantas da parcela experimental foram usadas para a realização das análises morfológicas e biométricas. A altura e largura de plantas, número total de cladódios por planta (NTC), número de total de cladódios de primeira ordem (NCP), de segunda ordem (NCS), até “n” ordens, assim como largura, comprimento e espessura dos cladódios foram mensurados, conforme a ordem de surgimento dos mesmos na referida

ramificação. O número de espinhos e de aréolas foi mensurado conforme metodologia proposta por Silva et al. (2010).

A área dos cladódios (AC) foi estimada a partir dos dados obtidos de largura e comprimento dos cladódios, conforme metodologia proposta por García-Cortázar e Nobel (1991). A partir da área do cladódio e do espaçamento entre as fileiras e entre as plantas, foi estimado o índice de área do cladódio (IAC $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) conforme proposto por Pinheiro et al. (2014).

Para cada acesso, 20 cladódios foram destacados da planta mãe para determinação do peso médio e posterior determinação da produção de matéria verde (PMV). A PMV foi obtida através do produto da multiplicação do peso médio dos cladódios pelo número total de cladódios por planta e pelo número de plantas por hectare, obtendo-se assim, a PMV em t ha^{-1} . Posteriormente, os cladódios foram fragmentados, acondicionados em sacos de papel e mantidos em uma estufa de circulação forçada a $65\text{ }^\circ\text{C}$ até se atingir peso seco constante obtendo-se assim a massa seca.

A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada pelo resultado da divisão entre a produtividade em massa seca de cada acesso e a lâmina total de água aplicada (precipitação pluviométrica + irrigação suplementar) durante o período experimental (Fonseca et al., 2019; Castro et al., 2020; Ramos et al., 2021). O acúmulo de água na planta (ACA) foi obtido a partir da diferença entre a produtividade de matéria verde e de massa seca em cada acesso (Souza et al., 2019).

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e em seguida as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores brutos das variáveis analisadas foram previamente transformados para $\log(x+2)$. Uma análise de componentes principais (ACP) também foi empregada. As análises foram realizadas por meio do software R 4.1 (R Development Core Team, 2019).

RESULTADOS

Os acessos exibiram elevada variabilidade para as características em análise, havendo diferenças significativas entre esses materiais ($p < 0,01$). Plantas mais altas ($>60\text{ cm}$) aos 365 DAP foram obtidas com os acessos 48, 75, 91 e 100 (Figura 2A). Esses acessos, juntamente com o 49, também tiveram maior largura ($>80\text{ cm}$) (Figura 2B).

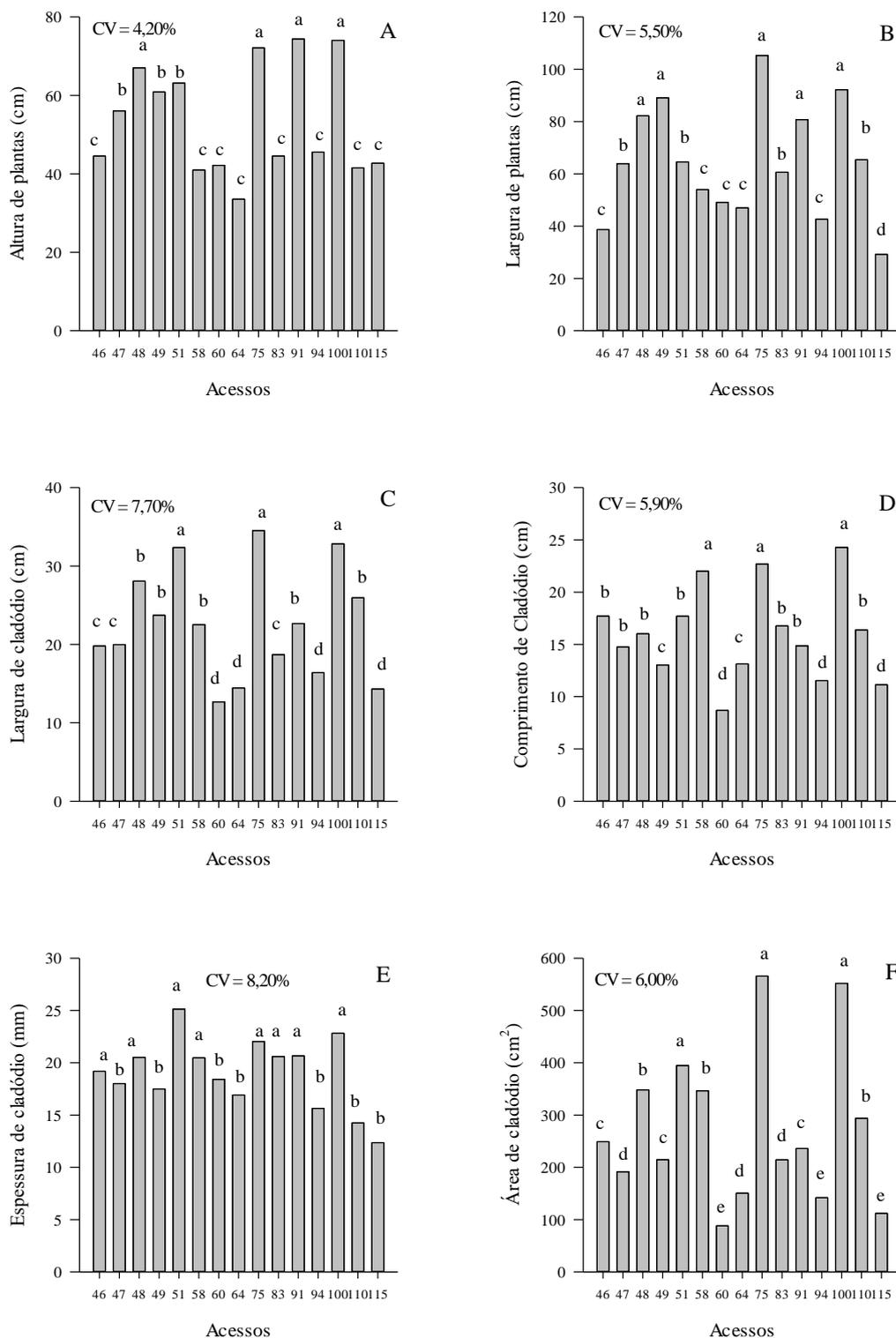


Figura 2 – Altura de plantas (A), largura de plantas (B), largura de cladódio (C), comprimento de cladódio (D) espessura de cladódio (D) e área de cladódio (F) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

No tocante a morfologia dos cladódios, os acessos 51, 75 e 100 se destacaram por ter cladódios mais largos (>32 cm). Em contraste, cladódios com menos de 17,0 cm de largura foram obtidos com os acessos 60, 64, 94 e 115 (Figura 2C). Os acessos 75 e 100, assim como o 58, também exibiram cladódios de maior comprimento (>22,0 cm), diferindo estatisticamente dos demais materiais (Figura 2D).

Menor variabilidade foi observada para a espessura de cladódios, com a formação de dois agrupamentos. Maiores valores para essa variável foram observados para os acessos 46, 48, 51, 58, 75, 83, 91 e 100, cuja espessura foi superior a 19,0 mm (Figura 2E).

Áreas médias de cladódios maiores que 390,0 cm² foram obtidas para os acessos 51, 75 e 100 (Figura 2F). Os três acessos pertencem a *O. megacantha* e evidenciam o potencial dessa espécie no tocante a maior disponibilidade de área para o processo fotossintético. Em sentido contrário, os cladódios dos acessos 60, 94 e 115 alcançaram menores valores para essa variável, com médias inferiores a 150,0 cm².

No tocante a divisão das ordens dos cladódios, resultados díspares foram observados para os materiais em estudo. Os acessos 64 e 110 se caracterizaram por apresentar maior número de cladódios primários (NCP), com valores superiores a 3,80 cladódios por planta. Já desempenho intermediário para essa classe foi verificado para o acesso 49, que atingiu 3,14 cladódios. Plantas com menos de 2,30 cladódios primários foram obtidas com os acessos 46, 51, 58, 60, 83, 91, 94 e 115 (Figura 3A).

O acesso 49 alcançou o maior número de cladódios secundários (NCS) aos 365 DAP, atingindo 8,83 cladódios por planta. Resultados intermediários para essa variável foram observados para o acesso 91, com 5,17 cladódios por planta (Figura 3B). Destaca-se que o acesso 49 junto com o 60 atingiram o maior número de cladódios terciários (NCT), com uma média superior a 5,40 estruturas desse tipo. Ainda, para essa classe de cladódios, os acessos 46, 58, 64 e 110 alcançaram resultados inferiores aos demais materiais, com valores médios abaixo de 0,20 cladódio por planta (Figura 3C).

A presença de cladódios quaternários (NCQ) foi restrita a alguns acessos, em especial ao acesso 60 que alcançou 2,40 cladódios por planta, diferindo estatisticamente dos demais materiais (Figura 3D).

Quanto ao número total de cladódios (NTC), o acesso 49 se caracterizou pela presença de maior quantidade dessas estruturas, com valor médio de 17,53 cladódios por planta. Os acessos 60 e 91 se agruparam com desempenho intermediário, com média superior a 11,5 cladódios.

Em contraste, plantas com menos de 5,5 cladódios foram obtidas com os acessos 46, 51, 58, 83 e 115 (Figura 3E).

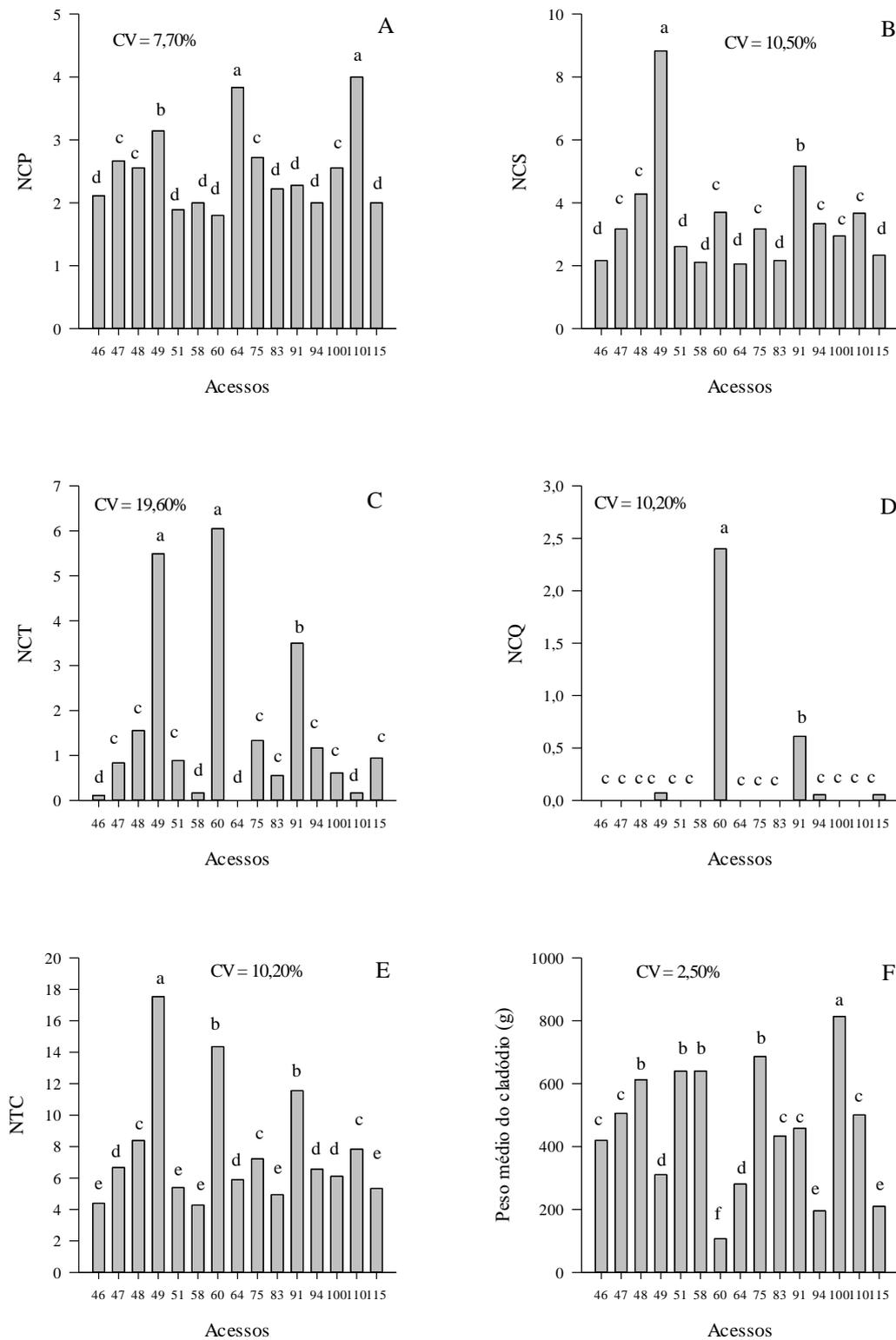


Figura 3 – Número de cladódios primários (NCP)(A), secundários (NCS)(B), terciários (NCT)(C) e quaternários (NCQ)(D), número total de cladódios (NTC)(E) e peso do cladódio

(F) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os acessos exibiram grande variabilidade quanto ao peso médio dos cladódios (Figura 3F). Cladódios com peso médio de 813,3 g foram obtidos com o acesso 100, que diferiu dos demais materiais. O acesso 60, embora tenha alcançado valores consideráveis de número de cladódios, caracterizou-se por cladódios de menor peso, com média de 107,1 g.

O acesso 60 se destacou pela grande quantidade de aréolas, atingindo 65,6 aréolas por dm^2 . Os demais acessos alcançaram valores inferiores a 25 aréolas por dm^2 e formaram três agrupamentos, destacando-se os acessos 46, 49, 58 e 110 com a menor quantidade dessas estruturas ($<9 \text{ dm}^2$) (Figura 4A). Maior quantidade de espinhos também foi verificada no acesso 60, com 48 espinhos por dm^2 (Figura 4B).

Os maiores valores para o Índice de Área de Cladódio (IAC) foram alcançados com os acessos 49, 75 e 100, com IAC maior que $0,70 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (Figura 4C). Ressalta-se que 08 (46, 47, 58, 60, 64, 83, 94 e 115) dos 15 acessos em estudo alcançaram IAC inferior a $0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, resultados que demonstram os diferentes padrões de crescimento presentes nesses materiais.

Os valores de produtividade de matéria verde (PMV) variaram de 24,32 a $120,93 \text{ t ha}^{-1}$. Cinco acessos (48, 49, 75, 91 e 100) atingiram as maiores médias de PMV, não diferindo estatisticamente entre si, com amplitude de produtividade de 108,11 a $120,93 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 4D). Os menores rendimentos foram obtidos com os acessos 94 e 115, com PMV inferior a 27 t ha^{-1} . Desempenho similar foi observado para o acúmulo de água nas plantas (ACA), no qual os acessos 48, 49, 75, 91 e 100 atingiram ACA superior a $98,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Figura 4E), demonstrando-se que esses acessos além de possuírem maior produção de biomassa, acumulam também maior quantidade de água, resultados importantes especialmente ao se considerar as limitações hídricas do ambiente de cultivo.

Maior eficiência do uso da água (EUA) foi verificada para os acessos 49, 91 e 100, obtendo-se um incremento superior a $53,0 \text{ kg de matéria seca ha}^{-1}$ para cada milímetro de água precipitada ou aplicada. Em contraste, para essa mesma quantidade de água, os acessos 46, 64, 94 e 115 produziram menos de $16,0 \text{ kg MS ha}^{-1}$ (Figura 4F).

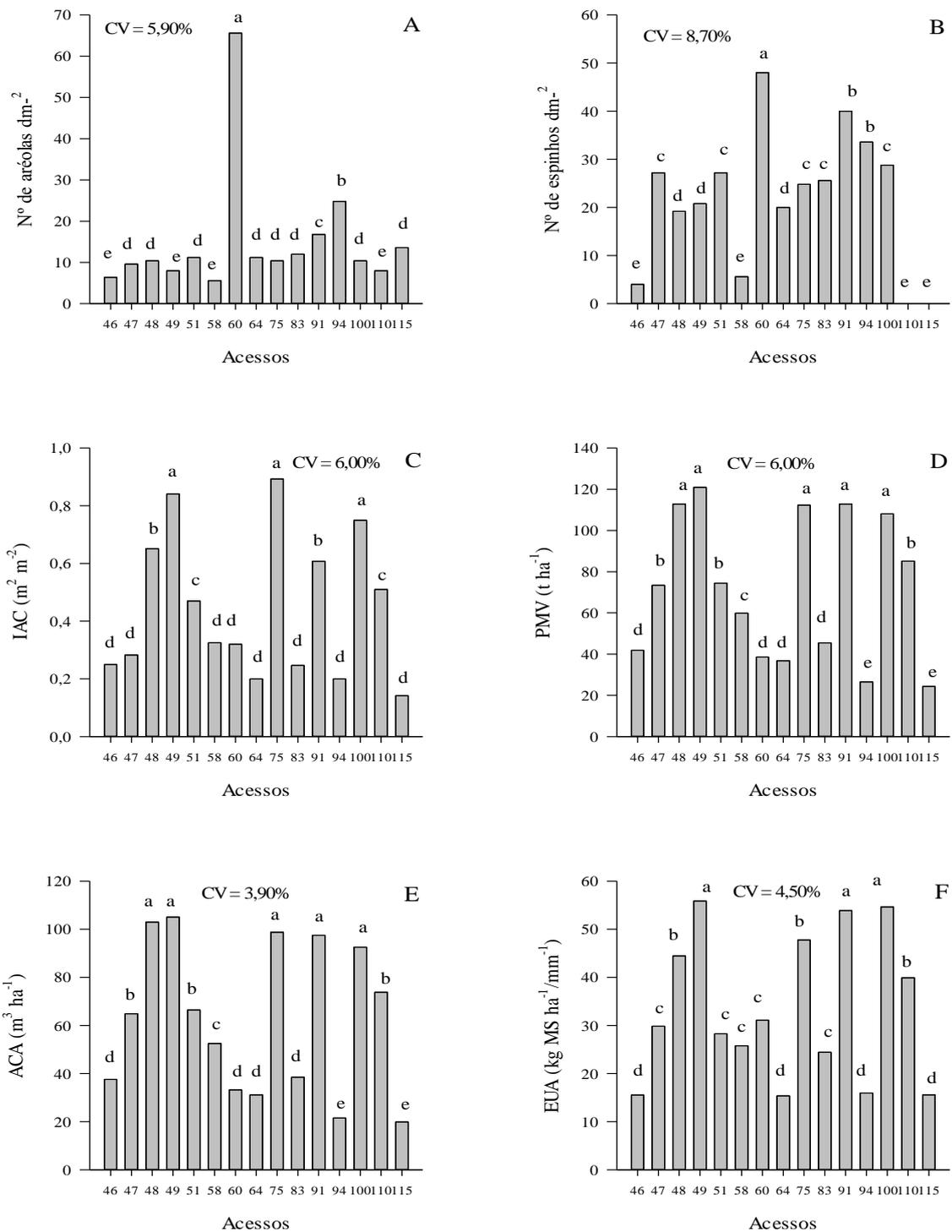


Figura 4 – Número de aréolas (A), número de espinhos (B), índice de área de cladódio (IAC)(C) e produtividade de matéria verde (PMV)(D), acúmulo de água nas plantas (ACA)(E) e eficiência do uso da água (EUA)(F) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Durante o período experimental foi registrada floração apenas para o acesso 49 (Figura 1D), que emitiu botões florais a partir do nono mês após o plantio. Todavia, todas as flores foram abortadas e não se chegou à frutificação.

A análise de componentes principais (ACP) explicou 76,5% da variância original dos dados em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2) (Figura 5).

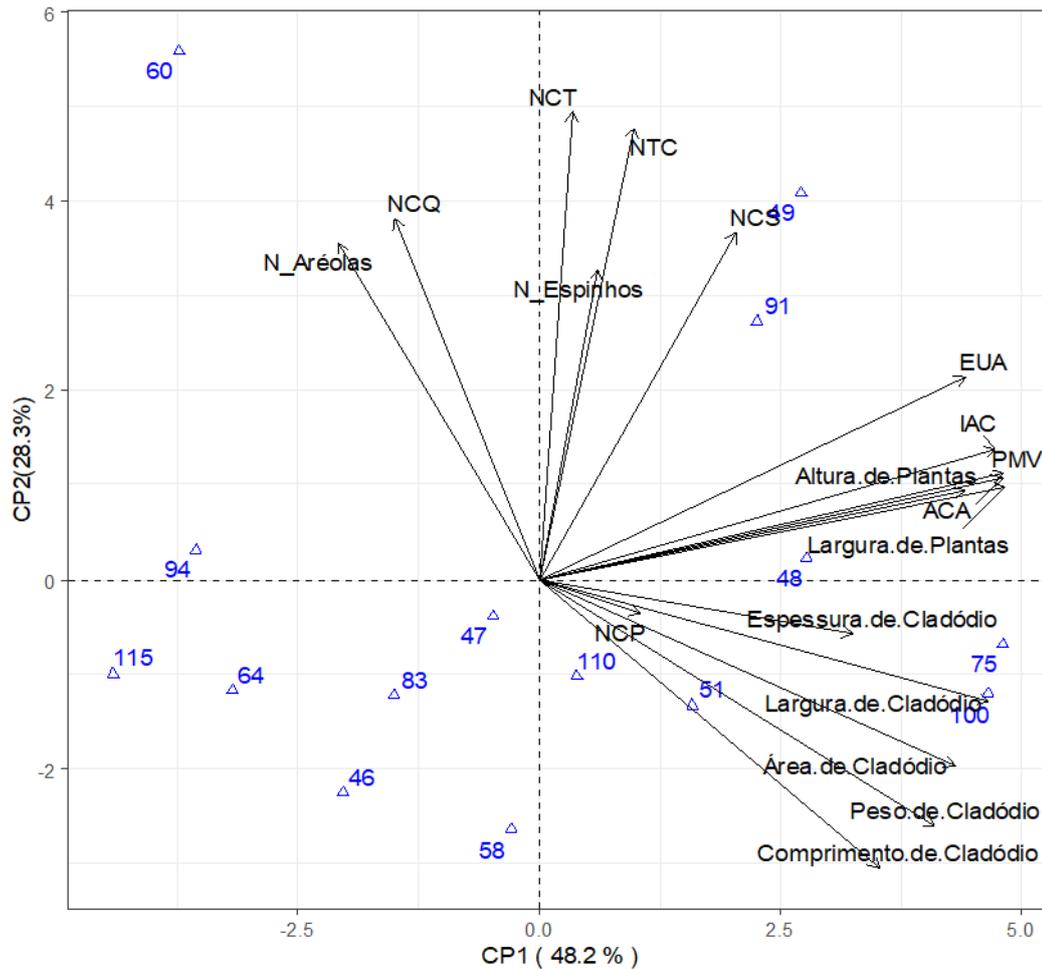


Figura 5 – Dispersão gráfica biplot de 15 acessos de *Opuntia* baseada em escores de 18 caracteres de morfologia e produtividade, representados pelos dois primeiros componentes principais.

No eixo 1, responsável por reunir 48,2% da explicação dos dados, observou-se associação significativa entre Largura de Plantas ($r = 0,95$; $p < 0,01$), PMV ($r = 0,94$; $p < 0,01$), ACA ($r = 0,94$; $p < 0,01$), IAC ($r = 0,93$; $p < 0,01$), Largura de Cladódio ($r = 0,91$; $p < 0,01$), Altura de Plantas ($r = 0,86$; $p < 0,01$) ($r = 0,84$; $p < 0,01$), EUA ($r = 0,86$; $p < 0,01$) ($r = 0,84$; $p < 0,01$), Área de Cladódio ($r = 0,84$; $p < 0,01$), Peso de Cladódio ($r = 0,80$; $p < 0,05$), Comprimento de Cladódio ($r = 0,80$; $p < 0,05$), NCT ($r = 0,78$; $p < 0,01$), NTC ($r = 0,78$; $p < 0,01$), NCS ($r = 0,78$; $p < 0,01$), N_Aréolas ($r = 0,78$; $p < 0,01$), N_Espinhos ($r = 0,78$; $p < 0,01$), NCP ($r = 0,78$; $p < 0,01$), Espessura de Cladódio ($r = 0,78$; $p < 0,01$), Largura de Cladódio ($r = 0,78$; $p < 0,01$), Área de Cladódio ($r = 0,78$; $p < 0,01$), Peso de Cladódio ($r = 0,78$; $p < 0,01$), Comprimento de Cladódio ($r = 0,78$; $p < 0,01$).

= 0,69; $p < 0,05$) e Espessura de Cladódio ($r = 0,63$; $p < 0,05$). Esses resultados evidenciam que para os acessos em estudo, os caracteres morfológicos, como altura e largura de plantas, bem como a área de cladódio e IAC, são diretamente relacionados com maior produção de matéria verde, acúmulo de água na planta e eficiência do uso da água. Para esse eixo, destacam-se os acessos 48, 49, 75, 91 e 100, que alcançaram o melhor desempenho geral para as variáveis de crescimento, morfológicas e produtivas. No eixo 2 da ACP, que agrupou 28,3% da variância dos dados, observou-se associação significativa entre Número de Cladódios Terciários ($r = 0,97$; $p < 0,01$), Número Total de Cladódios ($r = 0,93$; $p < 0,01$), Número de Cladódios Quaternários ($r = 0,74$; $p < 0,01$), Número de Cladódios Secundários ($r = 0,72$; $p < 0,01$), Número de Aréolas ($r = 0,69$; $p < 0,01$) e Número de Espinhos ($r = 0,64$; $p < 0,01$), que contrastaram com o Comprimento de Cladódio ($r = -0,60$; $p < 0,01$). Evidencia-se assim, que acessos com maior número de cladódios apresentam também maior número de ordens dessas estruturas. Assim como, plantas com maior número de cladódios apresentam cladódios de menor comprimento e com maior número de aréolas e espinhos.

DISCUSSÃO

Os resultados desse estudo evidenciam a elevada variabilidade morfológica e produtiva de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae* no Semiárido do Brasil. Esses achados são particularmente importantes para subsidiar estratégias de manejo e potencializar o rendimento produtivo desses acessos.

Acessos como 48, 49, 75, 91 e 100, que alcançaram maior altura e largura, requerem ajustes no espaçamento utilizado, visto o padrão de crescimento observado. Plantas mais largas como as obtidas com esses acessos necessitam de maior espaçamento entre linhas, visando diminuir a competição por recursos e facilitar o manejo (Amorim et al., 2015; Edvan et al., 2020; Ramos et al., 2021). Ademais, considerando que os acessos possuem potencial de produção de frutos, além de ajustes no espaçamento, é necessária uma redução na densidade de plantas (Reis et al., 2018).

Em algumas espécies de *Opuntia* a altura da planta apresenta associação positiva com o número de cladódios, o que se deve a distribuição dessas estruturas na planta, de modo que um cladódio é fixado ao topo de outro cladódio e, conseqüentemente, plantas com maior número de cladódios, tendem a apresentar também maior altura (Fonseca et al., 2019). Todavia, como observado nesse estudo, alguns acessos, como, por exemplo, o 51, embora tenha alcançado altura intermediária em relação aos demais materiais, atingiu um menor número total de

cladódios, o que se deve ao seu hábito de crescimento ereto e semiaberto, com baixa produção de cladódios laterais, refletindo em um menor número de cladódios por planta (Lemos et al., 2021).

Para os acessos aqui analisados, uma característica determinante para a altura de plantas foi a presença de cladódios com maior área, como demonstrado com as associações positivas entre essas variáveis na análise de componentes principais. Ressalta-se que o crescimento e o desenvolvimento de cladódios são dependentes, além dos fatores genéticos, do ambiente de cultivo, o que resulta em tamanhos variáveis dessas estruturas (Drezner, 2017).

Maior largura e comprimento do cladódio, como observado nos acessos 75 e 100, denotam a maior capacidade de acúmulo de água desses acessos, visto que a turgidez é um importante atributo das plantas CAM (Castro et al., 2020), estando também associada a espessura dos cladódios (Amorim et al., 2015). No tocante a menor variabilidade identificada para a espessura, embora esta seja afetada por fatores genéticos, é também uma representação do estado de turgidez dos cladódios (Amorim et al., 2015), de modo que, visto que a avaliação se deu no período chuvoso, a maior disponibilidade de água para as plantas possivelmente favoreceu a expressão máxima dessa variável (Campos et al., 2021).

A área de cladódios é uma variável muito importante por estar relacionada com o crescimento vegetativo de *Opuntia*, uma vez que a eficiência dessas plantas em converter energia luminosa via fotossíntese depende, entre outros fatores, da área dessas estruturas, o que irá influenciar em maior produção de biomassa (Lima et al., 2016). Dessa forma, os resultados obtidos em acessos como o 75 e 100 são importantes. Visto que, além dos fatores já destacados, quanto maior a área de cladódio de um acesso, maior será também o teor de água e mais resistente a planta será ao déficit hídrico (Alves et al., 2016).

No entanto, em *Opuntia*, algumas espécies podem compensar o menor desenvolvimento de seus cladódios por uma maior emissão, refletindo em um maior número dessas estruturas e um consequente aumento do índice de área de cladódios, o que também pode levar a obtenção de maior produção de biomassa (Castro et al., 2020), sendo, no presente estudo, observada no acesso 49. Acessos com cladódios de menor área podem investir no crescimento vertical e distribuir seus cladódios de acordo (Ramos et al., 2021).

A arquitetura de cladódios é particularmente importante devido às funções que algumas ordens desempenham (Barbosa et al., 2018; Souza et al., 2022). Por exemplo, cladódios secundários desempenham importante papel para a fotossíntese, na produtividade e na estabilidade da cultura, enquanto que os cladódios primários estão mais fortemente associados

a sustentação da planta. Dessa forma, maior quantidade de cladódios dessa ordem, como observado para o acesso 49, é um indicativo de bom potencial produtivo. Ainda, resultados como os obtidos por Barbosa et al. (2018), demonstram também que quanto maior o crescimento dos cladódios secundários, maior é o estímulo para o desenvolvimento de novos cladódios primários.

Maior número total de cladódios, como observado para o acesso 49, evidencia o melhor aproveitamento do uso da água, indicando uma relação entre a disponibilidade hídrica e a maior brotação de gemas pela planta (Fonseca et al., 2019). A quantidade de cladódios por planta é uma característica de grande relevância para *Opuntia*, visto que está diretamente relacionada com o acúmulo de biomassa, além de possuir fins práticos para a multiplicação, já que são os cladódios que são utilizados como material de plantio (Garcia et al., 2021).

Cladódios mais pesados, como os obtidos com o acesso 100, demonstram a maior capacidade de armazenamento de água em acessos específicos (Castro et al., 2020; Ramos et al., 2021), o que irá refletir positivamente no desempenho desses materiais durante os períodos secos do ano (Alves et al., 2016).

O acesso 60, que se caracterizou por seu pequeno porte e pelas pequenas dimensões de seus cladódios, resultando em menor produção de biomassa, destacou-se pela grande quantidade de aréolas e espinhos. Esses numerosos espinhos são um dos entraves para a utilização e manejo desse acesso, especialmente ao se considerar a possibilidade de utilização para a alimentação animal, já que os espinhos podem influenciar na preferência e no valor alimentar de cactáceas, sendo preferíveis materiais com ausência ou com pequena quantidade dessas estruturas (Adli et al., 2019). No entanto, é conhecido que o processo de domesticação de *Opuntia* pode resultar na redução ou na total eliminação dessas estruturas de defesa (López-Palacios & Peña-Valdivia, 2020).

Um maior índice de área de cladódio (IAC), como os verificados nos acessos 49, 75 e 100, é uma característica desejável do ponto de vista fisiológico, uma vez que representa uma maior área de captação da radiação ativa fotossintética, implicando assim, em maiores rendimentos desses materiais (Fonseca et al., 2019). Por sua importância como indicador de produtividade (Pinheiro et al., 2014), o IAC pode ser utilizado como critério para seleção de variedades superiores em programas de melhoramento (Amorim et al., 2015).

A produção de matéria verde superior a 100,0 t ha⁻¹ como a obtida com os acessos 48, 49, 75, 91 e 100, decorridos 365 dias após o plantio e com uma precipitação total acumulada de 284,66 mm, é um indicativo da elevada rusticidade produtiva desses materiais, o que se deve

em grande parte a adaptabilidade de *Opuntia* a ambientes com restrições pluviométricas severas e ao seu metabolismo CAM, caracterizado pela abertura estomática noturna (Araújo et al., 2022).

O acúmulo de água (ACA) superior a $98,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, como observado para os acessos 48, 49, 75, 91 e 100, evidencia que esses materiais além de se constituírem com uma importante fonte de biomassa, também possuem relevante papel como reserva hídrica. Isso é particularmente importante ao se utilizar esses materiais para a alimentação animal. Como demonstrado por Borges et al. (2019), o uso de *Opuntia* na dieta de vacas em lactação reduziu substancialmente o consumo de água por esses animais.

Os resultados de eficiência do uso da água (EUA) obtidos neste estudo, especialmente os observados para os acessos 49, 91 e 100, são superiores aos reportados na literatura para outras espécies de *Opuntia*. Por exemplo, para *O. ficus-indica* no primeiro ciclo de produção, Fonseca et al. (2019) reportam EUA entre $4,06$ e $6,14 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ em função de diferentes lâminas e intervalos de irrigação. Já Ramos et al. (2021), com 34 genótipos de *Opuntia* pertencentes a *O. ficus-indica*, *O. stricta* e *O. cochenillifera* subgênero *Nopalea*, obtiveram valores de EUA máximos de $52,6$ $14 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Destaca-se que a EUA pode ser tomada como um indicador de decisão quanto a seleção de acessos, especialmente aqueles que serão cultivados em ambientes de menor pluviosidade (Amorim et al., 2015).

Esse estudo também reforça a associação entre os caracteres morfológicos dos acessos com o seu desempenho produtivo, como demonstrado na ACP. Acessos de *Opuntia* com plantas mais altas e largas, bem como maior área de cladódios e IAC possuem maior capacidade de produção de biomassa, resultados que corroboram com a literatura disponível para outras espécies desse gênero (Pinheiro et al., 2014; Lima et al., 2016; Fonseca et al., 2019; Castro et al., 2020). Ainda, a associação de PMV, EUA e ACA, demonstra que acessos com maior eficiência do uso da água, possuem também maior produção de massa verde e cladódios com maior capacidade de armazenar água (Ramos et al., 2021). Os resultados do eixo 2 da ACP denotam a importância das aréolas para um maior número de cladódios e para a presença de uma maior quantidade de ordens por planta, visto que essas estruturas estão diretamente ligadas ao surgimento de novos cladódios (Hassan et al., 2020).

CONCLUSÕES

Variabilidade nas características morfológicas e produtivas foi identificada para acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*.

Os acessos 49, 91 e 100 se destacaram pela maior eficiência do uso da água (EUA) e junto com os acessos 48 e 75, atingiram maior desenvolvimento morfológico e produção de matéria verde.

REFERÊNCIAS

- ADLI, B.; TOUATI, M.; YABRIR, B.; BAKRIA, T.; BEZINI, E.; BOUTEKRABT, A. Morphological characterization of some naturalized accessions of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. in the Algerian steppe regions. **South African Journal of Botany**, v. 124, p. 211-217, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, A. L. A.; ANDRADE, P. D. A.; BRUNO, R. L. A.; SANTOS, D. C.; PEREIRA, V. L. A. Study of the genetic variability, correlation and importance of phenotypic characteristics in cactus pear (*Opuntia* and *Nopalea*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 31, p. 2849-2859, 2016.
- AMORIM, P. L. D.; MARTUSCELLO, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. T. D.; CUNHA, D. D. N. F. V. D.; JANK, L. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 230-238, 2015.
- ARAÚJO, J. S.; SOUZA, J. T. A.; FÉLIX, E. S.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; LIRA, E. C. Gas exchange in genotypes of *Nopalea cochenillifera* in different seasons and evaluations times. **Acta Botanica Croatica**, v. 81, n. 2, p. e 275124, 2022.
- ASTELLO-GARCÍA, M. G.; CERVANTES, I.; NAIR, V.; SANTOS-DÍAZ, M. S.; REYES-AGÜERO, A.; GUÉRAUD, F.; NEGRE-SALVAYRE, A.; ROSSIGNOL, M.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; ROSA, A. P. B. Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 43, p. 119-130, 2015.
- BARBOSA, M. L.; SILVA, T. G. F. D.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. E.; STEIDLE NETO, A. J. The influence of cladode morphology on the canopy formation of forage cactus plants. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 180-190, 2018.
- BATISTA, M. C.; NASCIMENTO, R.; ALMEIDA, I. V. B.; MEDEIROS, L. T. V.; SOUZA, J. T. A.; SANTOS, J. P. O.; CARTAXO, P. H. A.; ARAÚJO, J. R. E. S. Production and selection of accessions of *Opuntia* spp. with resistance to false carmine cochineal. **Comunicata Scientiae**, v. 13, p. e3869, 2022.
- BORGES, L. D. A.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; MONÇÃO, F. P.; SOARES, C.; RUAS, J. R. M.; SILVA, F. V.; RIGUEIRA, J. P. S.; COSTA, N. M.; OLIVEIRA, L. L. S.; RABELO, W. O. Nutritional and productive parameters of Holstein/Zebu cows fed diets containing cactus pear. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 32, n. 9, p. e1373, 2019.
- CAMPOS, A. R. F.; SILVA, A. J. P.; VAN LIER, Q. D. J.; NASCIMENTO, F. A. L.; FERNANDES, R. D. M.; ALMEIDA, J. N.; PAZ, V. P. S. Yield and morphology of forage

cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. **Journal of Arid Environments**, v. 193, p. e104564, 2021.

CASTRO, I. N. D.; SANTOS, S. R. D.; KONDO, M. K.; MAIA, V.; SANTOS, C. C. R. D. Agronomic performance and water use efficiency of irrigated cactus pear cultivars. **Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 529-540, 2020.

COMPARETTIA, A.; FEBOA, P.; GRECOA, C.; MAMMANOB, M. M.; ORLANDO, S. Potential production of biogas from prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) in Sicilian uncultivated areas. **Chemical Engineering**, v. 58, p. 559-564, 2017.

DREZNER, T. D. North and south: Morphological variability in the endangered *Opuntia cespitosa* in Canada and variation with environmental conditions. **Castanea**, v. 82, n. 1, p. 8-23, 2017.

EDVAN, R. L.; MOTA, R. R. M.; DIAS-SILVA, T. P.; NASCIMENTO, R. R.; SOUSA, S. V.; SILVA, A. L.; ARAÚJO, M. J.; ARAÚJO, J. C. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, e10040, 2020.

FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R. D.; SILVA, J. A. D.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, p. e42631, 2019.

GARCIA, C. V.; MELLO, A. C.; CUNHA, M. V. D.; SILVA, M. D. C.; SANTOS, D. C. D.; SANTOS, M. V.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; HOMEM, B. G. C. Agronomic characteristics and nutritional value of cactus pear progenies. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 6, p. 4721-4735, 2021.

GARCÍA-CORTÁZAR, V.; NOBEL, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 56, p. 261-272, 1991.

GIORGI, J. A.; BARBOSA, P. R. R.; OLIVEIRA, J. E. D. M.; TORRES, J. B. *Prodilis hattie* Gordon and Hanley (Coleoptera: Coccinellidae: Cephaloscyminini): new research on native natural predators of the false carmine cochineal, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell)(Hemiptera: Dactylopiidae), in the Brazilian semiarid region. **The Coleopterists Bulletin**, v. 72, n. 3, p. 562-564, 2018.

HADJKOUIDER, B.; BOUTEKRABT, A.; LALLOUCHE, B.; LAMINE, S.; ZOGHLAMI, N. Polymorphism analysis in some Algerian *Opuntia* species using morphological and phenological UPOV descriptors. **Botanical Sciences**, v. 95, n. 3, p. 391-400, 2017.

HASSAN, S.; LIGUORI, G.; INGLESE, P.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. The effect of soil volume availability on *Opuntia ficus-indica* canopy and root growth. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. e635, 2020.

LEMO, M.; FERREIRA-NETO, M.; FERNANDES, C. S.; LIMA, Y. B.; DIAS, N. D. S.; MEDEIROS, J. F.; BRITO, R. F.; SÁ, F. V. S. The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 185, p. e104372, 2021.

LIMA, G. F. D. C.; REGO, M.; TELES, M.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B.; SILVA, J. G. M. D.; AGUIAR, E. M. D. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Caatinga**, v. 29, n. 2, p. 481-488, 2016.

LÓPEZ-PALACIOS, C.; PEÑA-VALDIVIA, C. B. Screening of secondary metabolites in cladodes to further decode the domestication process in the genus *Opuntia* (Cactaceae). **Planta**, v. 251, n. 4, p. 1-14, 2020.

NUNES, V. X.; NUNES, N. U. X.; LONDE, L. N.; OLIVEIRA, C. G.; INOUE, N. A. A. M.; ROCHA, S. S.; CALAES, J. E. G. Physico-chemical characterization of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) in the semi-arid region of Bahia State, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 51, p. 3537-3541, 2017.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F. D.; CARVALHO, H. F. D. S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F. D.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. D. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2019. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 de agosto de 2022.

RAMOS, J. P. F.; MACÊDO, A. J. S.; SANTOS, E. M.; EDVAN, R. L.; SOUSA, W. H.; PERAZZO, A. F.; SILVA, A. S.; CARTAXO, F. Q. Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, p. e51214, 2021.

REIS, C. M. G.; GAZARINI, L. C.; FONSECA, T. F.; RIBEIRO, M. M. Above-ground biomass estimation of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. for forage crop in a mediterranean environment by using non-destructive methods. **Experimental Agriculture**, v. 54, n. 2, p. 227-242, 2018.

SABBAHI, R.; HOCK, V. Control of the prickly pear cochineal, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), in Morocco: an overview. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 2022, p. e41348, 2022.

SANTOS, D.; LIRA, M.; DUBEUX JÚNIOR, J.; SANTOS, M.; MELLO, A. Recomendação de adubação para a palma forrageira. In: F. CAVALCANTI (ed.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação**. Instituto Agrônomo de Pernambuco, Recife: 2008. p. 180.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. revista e ampliada. Embrapa, Brasília, 2013. 356 p.

SILVA, N. G. D. M.; LIRA, M. D. A.; SANTOS, M. V. F. D.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; MELLO, A. C. L. D.; SILVA, M. D. C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2389-2397, 2010.

SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; RAMOS, J. P. F.; SOUSA, W. H.; ARAÚJO, J. S.; LIMA, G. F. C.; DIAS, J. A. Rendimento quântico e eficiência de uso da água de genótipos de palma forrageira no Semiárido brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 262, p. 268-273, 2019.

SOUZA, M. D. S.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; ALVES, H. K. M. N.; LEITE, R. M. C.; SOUZA, C. A. A.; ARAÚJO, G. G. L.; CAMPOS, F. S.; SILVA, M. J. D.; SOUZA, P. J. D. O. P. Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under biotic mulching. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 68, n. 6, p. 764-778, 2022.

CAPÍTULO III

ASPECTOS FISIOLÓGICOS E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE ACESSOS DE *Opuntia* spp. COM RESISTÊNCIA À *Dactylopius opuntiae*

RESUMO

O Brasil concentra as maiores áreas mundiais cultivadas com *Opuntia*, gênero que possui espécies com potencial para produção de frutos e verduras, além de ser uma importante fonte de forragem em áreas com restrições hídricas. A introdução da falsa cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*) em áreas produtoras de algumas espécies desse gênero no Semiárido Brasileiro gerou graves perdas produtivas, o que resultou na necessidade da busca e introdução de variedades com resistência a essa praga. O conhecimento das características fisiológicas e produtivas de materiais com resistência a esta praga é um passo importante na seleção de novas variedades. Nesse sentido, esse estudo objetivou analisar os aspectos fisiológicos e a produção de matéria seca de 15 acessos de *Opuntia* com resistência à falsa cochonilha do carmim, no qual foram avaliadas as trocas gasosas, pigmentos (clorofila *a*, *b*, total e carotenoides), a produção e produtividade de matéria seca. Os resultados demonstraram elevada variabilidade para as variáveis fisiológicas e produtivas dos acessos em estudo, obtendo-se diferenças significativas entre esses materiais. A análise de componentes principais (ACP) evidenciou que para os acessos em estudo, uma maior concentração de pigmentos está relacionada com maiores taxas de captação de CO₂, maior eficiência instantânea do uso da água e, por conseguinte, maior produtividade de matéria seca. O acesso 49 se destacou pelo melhor desempenho na captação de CO₂ (*A*) e na eficiência instantânea do uso da água (*EUA*), e juntamente com os acessos 91 e 100, alcançou a maior produtividade de matéria seca.

Palavras-Chave: captação de CO₂; domesticação; trocas gasosas; palma forrageira.

ABSTRACT

Brazil concentrates the largest areas cultivated with *Opuntia*, a genus that has species with potential for fruit and vegetable production, in addition to being an important source of fodder in areas with water restrictions. The introduction of the false carmine cochineal (*Dactylopius opuntiae*) in areas producing some species of this genus in the semi-arid region of Brazil generated serious production losses, which resulted in the need to search for and introduce varieties with resistance to this pest. The knowledge of the physiological and productive characteristics of materials with resistance to false carmine cochineal is an important step in the selection of new varieties. In this sense, this study aimed to analyze the physiological aspects and dry matter production of 15 accessions of *Opuntia* with resistance to the false carmine cochineal in the semi-arid region of Brazil. Gas exchanges, pigments (chlorophyll *a*, *b*, total and carotenoids), dry matter production and productivity were evaluated. The results showed high variability for the physiological and productive variables of the accessions under study, obtaining significant differences between these materials. Principal component analysis (PCA) showed that for the accessions under study, a higher concentration of pigments is related to higher CO₂ uptake rates, greater instantaneous water use efficiency and, consequently, higher dry matter productivity. Accession 49 stood out for its better performance in CO₂ capture and instantaneous water use efficiency, and together with accessions 91 and 100, it achieved the highest dry matter productivity.

Keywords: CO₂ capture; domestication; gas exchange; prickly-pear.

INTRODUÇÃO

A família *Cactaceae* abriga cerca de 1.500 espécies com reconhecidas variações fenotípicas e características adaptativas a diferentes condições ambientais. Nessa família, o gênero *Opuntia* é um dos mais importantes e diversos (Zeghib et al., 2022), dotado de atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos especiais que permitem que suas espécies prosperem em condições climáticas adversas (Kumar et al., 2022).

Opuntia possui rápido crescimento e pode produzir em áreas marginais, em especial com solos pobres e com restrições hídricas (Horibe, 2021; Kumar et al., 2022; Zeghib et al., 2022). Espécies desse gênero são importantes fontes de frutos e verduras para a alimentação humana, bem como forragem para os animais (Dubeux Junior et al., 2021). Plantas de *Opuntia* são caracterizadas por sua alta eficiência de uso de água em comparação com plantas C₃ e C₄ (Horibe, 2021), o que garante a produção de uma maior quantidade de matéria seca usando uma menor quantidade de água, o que se deve ao seu fotossistema especializado denominado Metabolismo do Ácido Crassuláceo (CAM) (Kumar et al., 2022). Essa característica é particularmente importante por permitir seu sucesso adaptativo em regiões com suprimento restrito de água, longos períodos de seca e altas temperaturas (Horibe, 2021).

Espécies desse gênero são presentes no México, Brasil, países do norte da África e do Oriente Médio, África do Sul e Sicília. O México concentra as maiores áreas ocupadas por *Opuntia*, sendo em grande parte populações silvestres. Todavia, é no Brasil que se encontram as maiores áreas cultivadas (Ciriminna et al., 2019), destinadas para finalidades multiuso (frutas/forragens/processados industriais) ou apenas forragem (Dubeux Junior et al., 2021).

Dentre as pragas importantes que acometem *Opuntia*, a falsa cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) é uma das mais danosas. Trata-se de um inseto sugador de seiva que tende a formar colônias de tamanho variável nos cladódios de algumas espécies desse gênero, que em alguns casos são totalmente cobertos, resultando no surgimento de áreas amareladas cloróticas e necrose, com posterior morte dos tecidos (Mazzeo et al., 2019). A chegada desse inseto em áreas produtoras de *Opuntia* no Semiárido do Brasil levou a dizimação de milhares de hectares, causando grandes prejuízos econômicos e brutal impacto social (Torres & Giorgi, 2018).

Entre as estratégias para o manejo dessa praga, destaca-se a seleção e cultivo de variedades resistentes (Batista et al., 2022). Genótipos resistentes como “Orelha de Elefante Mexicana” *O. stricta* e “Miúda” *O. cochenillifera* (L.) Salm Dyck subgênero *Nopalea* têm sido recomendados (Torres & Giorgi, 2018). No entanto, a busca de outros materiais resistentes deve

ser recorrente. Nesse cenário, para identificar acessos promissores de *Opuntia* que possam servir de base para o melhoramento genético e subsidiar a recomendação de cultivo de novas variedades, são necessários estudos que avaliem as características produtivas (Batista et al., 2022) e o desempenho fisiológico desses materiais (Souza et al., 2022).

O conhecimento dos aspectos fisiológicos de materiais com resistência a falsa cochonilha do carmim é um passo importante na recomendação de cultivo de uma nova variedade, visto que, as variáveis de trocas gasosas, como a captação de CO₂, apresentam correlação com a produtividade (Souza et al., 2022). Ainda, a transpiração de um acesso é um indicativo da sua capacidade de regulação hídrica em condições de baixa disponibilidade de água (Lina & Eloisa, 2018); e a sua concentração de pigmentos demonstra a eficiência fotossintética (Piovan et al., 2015).

No entanto, estudos sobre a fisiologia dessa cultura ainda são escassos (Souza et al., 2019; Araújo et al., 2022), de modo que, a realização de pesquisas que visem incrementar o conhecimento e a compreensão da dinâmica fisiológica desse gênero em condições ambientais como as do Semiárido Brasileiro, é uma ação essencial (Souza et al., 2019). Nesse sentido, neste estudo objetivou-se analisar aspectos fisiológicos e a produção de matéria seca de 15 acessos de *Opuntia* com resistência à falsa cochonilha do carmim. Permitindo assim, subsidiar estratégias de seleção e domesticação de acessos com características superiores.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, localizada no município de Soledade, Paraíba, Semiárido do Brasil. Realizou-se a seleção de 15 acessos pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de *Opuntia* spp. da referida instituição, conforme recomendação de pesquisas anteriores do programa de melhoramento genético da cultura desenvolvidos na estação. A seleção das plantas se pautou no potencial frutífero e na resistência à falsa cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*).

O cultivo dos 15 acessos foi realizado em delineamento de blocos casualizados, com nove repetições. A parcela útil foi composta por duas plantas, espaçadas em 0,3 metros entre si, e de 0,5 metros entre parcelas. Cada bloco foi composto por uma linha, estando estas dispostas com um espaçamento de 1,5 metros entre si, totalizando uma população de 22.222 plantas por hectare. Para as bordaduras de contorno da área experimental, utilizou-se linhas plantadas com *O. stricta* Haw.

Tabela 1 – Acessos de *Opuntia* utilizados no estudo, pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG), da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, Soledade, Paraíba, Brasil.

Acesso	Nome	Origem	Espécie
46	Tapón pelón - T81	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	<i>O. robusta</i> Wendl.
47	Forrajero Cenizo - F27	Rancho M.R., Ramos Arizpe, Coahuila, México	<i>O. rzedowskii</i> Scheinvar
48	Camueso - T35	La Tinaja, San Diego de la Unión, Guanajuato, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
49	Blanco Valtierra - F48	Valtierra, Guanajuato, México	<i>O. atropes</i> Rose
51	Naranjona - T40	Rancho Las Papas, Zacatecas, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
58	Tapón	Nopalera UACH, Chapingo, México	<i>O. robusta</i> Wendl
60	Durasnillo - F25	La Pila, San Luis Potosí, México	<i>O. leucotricha</i> DC.
64	F Espinoso	Nopalera UACH, Chapingo, México	<i>Opuntia</i> sp.
75	Penca Alargado - F34	Vivero SEMARNAP, Saltillo, Coahuila, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
83	Espinoso Amarillo - F46	Rancho Bill Maltzberger, Cotulla, Texas	<i>O. robusta</i> Wendl
91	Aguamielilla Hgo. - T72	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	<i>O. joconostle</i> A. Web.
94	Xoconostle - T34	La Tinaja, San Diego de la Unión, Guanajuato, México	<i>O. joconostle</i> A. Web.
100	Tuna Morada - T80	Faculdade Agronomia, Marín, Nuevo León, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
110	G9. IPA-100431 - Clone 9 OEA	IPA, Arcoverde, Pernambuco, Brasil	<i>O. undulata</i> Griffiths
115	G14. IPA-200149 - V19	IPA, Arcoverde, Pernambuco, Brasil	<i>O. robusta</i> var. <i>larreyi</i> (F.A.C.Weber) Bravo

No município de Soledade, segundo a classificação de Köppen, o tipo climático é Bsh (semiárido e quente), com umidade relativa do ar em torno de 68% e temperaturas médias anuais em torno de 30 °C, com déficit hídrico durante quase todo ano (Alvares et al., 2013).

A condução do experimento se deu em condições de campo, em Luvisolo Crômico (Santos et al., 2018), com os seguintes atributos químicos: pH de 6,0; 23,03 mg dm⁻³ de P; 153,76 mg dm⁻³ de K⁺; 6,07 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 3,45 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0,16 cmol_c dm⁻³ de Na⁺; 2,49 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 0,05 cmol_c dm⁻³ de Al³⁺; soma de bases de 10,07 cmol_c dm⁻³; 12,57 cmol_c dm⁻³ de CTC, saturação por bases de 61,5% e 16,36 g kg⁻¹ de matéria orgânica.

O plantio foi realizado em março de 2021, sendo selecionadas raquetes saudáveis e vigorosas. Após a colheita, estas permaneceram na sombra por 07 dias para a cura e foram posteriormente plantadas (Figura 1A e 1B). O manejo de plantas daninhas no campo experimental foi realizado como uso de capinas manuais e herbicida.

Aos 60 dias após o plantio foi realizada uma adubação em função dos atributos químicos do solo e da respectiva recomendação sugerida para essa cultura, com base em Santos et al. (2008).

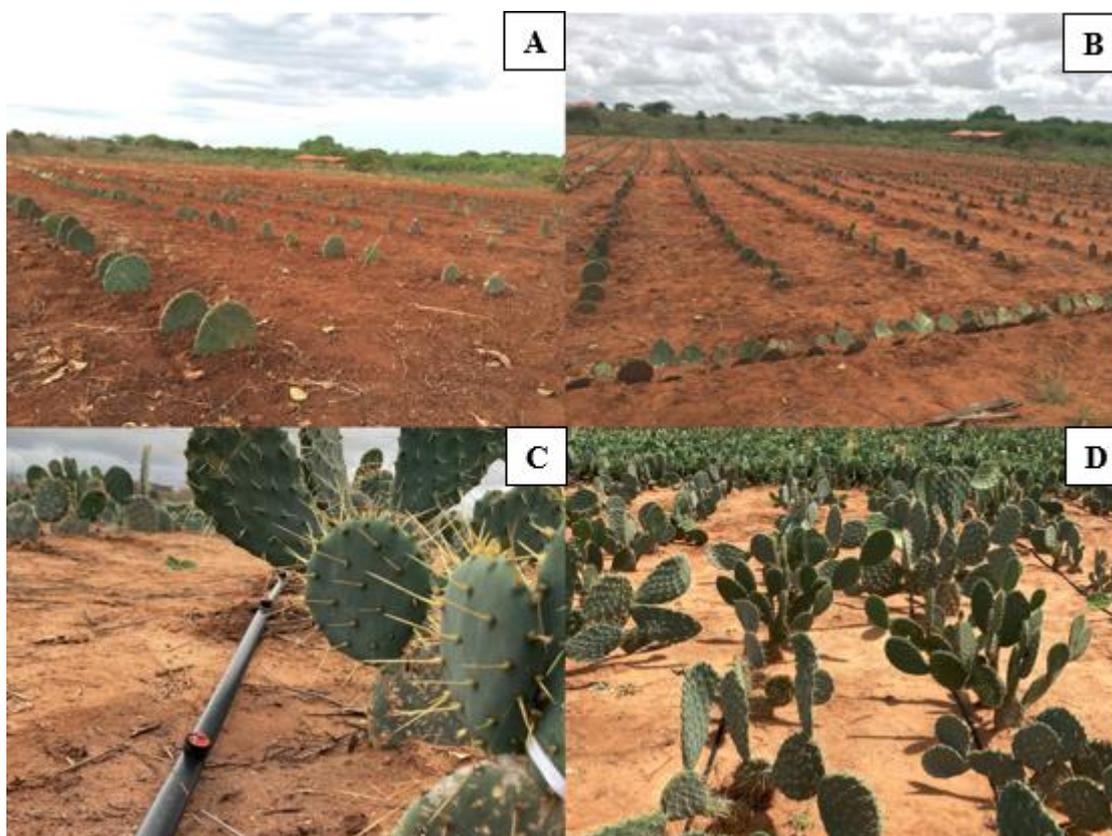


Figura 1 – Acessos recém-plantados (A), destaque da bordadura de contorno da área experimental (B), sistema de irrigação suplementar (C) e detalhe do experimento aos 365 dias (D).

De modo a minimizar os efeitos da sazonalidade pluviométrica no desenvolvimento inicial dos acessos em estudo, utilizou-se um sistema de irrigação suplementar (Figura 1C). Para tanto, aplicou-se uma lâmina mensal de 5,0 litros por parcela, sendo este montante dividido em aplicações a cada 15 dias, iniciando-se a partir de 120 dias após o plantio. Utilizou-se gotejamento convencional, com eficiência de 95%, pressão de serviço de 0,2 MPa, e fita gotejadora de 15 mm de diâmetro nominal com vazão de $5 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, com um gotejador para cada duas plantas. A água utilizada para irrigação apresentou as seguintes características: pH de 7,7; $2,25 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica; $16,60 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de cloreto; $3,87 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Ca^{2+} ; $5,85 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Mg^{2+} ; $0,18 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de K^+ ; $10,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Na^+ ; $0,20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de CO_3^{2-} ; $4,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de HCO_3^- , sendo classificada como C3S2.

Ao longo dos 365 dias do período experimental a precipitação acumulada foi de 257,1 mm (Figura 2), e os eventos de irrigação complementar somaram 27,5 mm, totalizando-se uma

lâmina de 284,6 mm ao longo deste período. Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos por meio de pluviômetro instalado na Estação Experimental.

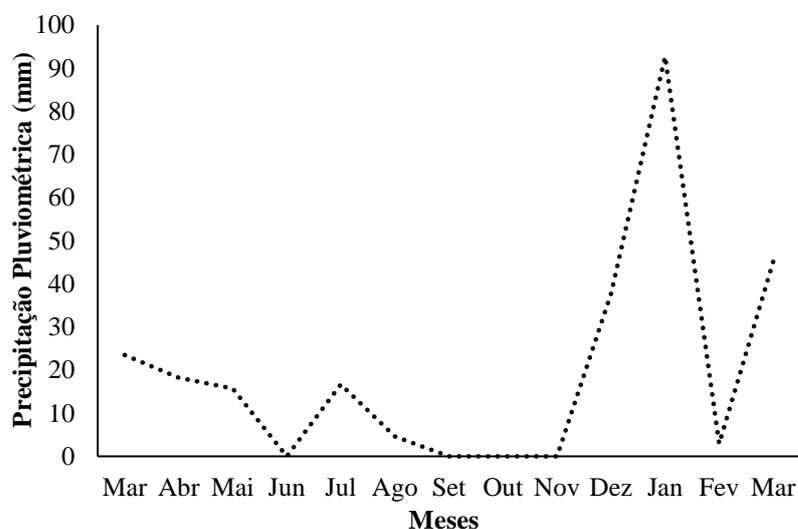


Figura 2 – Precipitação pluviométrica na área de estudo durante o período experimental (03/2021-03/2022).

Aos 365 dias após o plantio (Figura 1D), procedeu-se as medições de trocas gasosas. Foram mensuradas a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ (C_i) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A partir desses dados, foram calculadas a eficiência instantânea de uso da água (EUA), com base na relação da taxa fotossintética com transpiração (A/E); eficiência intrínseca do uso de água ($EiUA$) relacionando a taxa fotossintética com condutância estomática (A/g_s); e eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$) relacionando a taxa fotossintética com a concentração de carbono interno (A/C_i).

As análises de trocas gasosas foram realizadas no período noturno, visto que as espécies de *Opuntia* possuem metabolismo CAM (metabolismo do ácido crassuláceo), com medições entre as 22h00 e 24h00 (Souza et al., 2020). Essas medições foram realizadas em um cladódio maduro por planta, em quatro plantas por tratamento. Foi utilizada uma câmara foliar de 6,25 cm², RFA (Radiação Fotossinteticamente Ativa) desligada e pinça adaptada ao cladódio. Um analisador portátil de gás por infravermelho (IRGA)(ADC, modelo LCpro-SD, Hoddesdon, UK) foi utilizado para realizar as avaliações.

Para cada acesso, cladódios frescos foram colhidos, identificados e levados ao laboratório. Duas seções transversais de aproximadamente 2,0 cm de espessura cada foram realizadas no centro de cada cladódio. Os teores de clorofilas a e b , total e os carotenoides foram quantificados por meio da extração de amostras retiradas dos cladódios que, após pesadas,

foram picotadas e colocadas em recipientes contendo 6 mL de acetona 80% (v/v), mantidas no escuro e em ambiente refrigerado durante 48 horas. Após esse período, os sobrenadantes contendo os pigmentos extraídos foram levados para leitura em espectrofotômetro. Os teores de clorofila e carotenoides (g kg^{-1}) foram medidos em absorbâncias de 470 a 664 nm, e calculados pelas equações: Clorofila $a = [(12,25 \times A_{663}) - (2,79 \times A_{645})]$; Clorofila $b = [(21,50 \times A_{645}) - (5,10 \times A_{663})]$; clorofila total = $[(7,15 \times A_{663}) + (18,71 \times A_{647})]$ e Carotenoides = $[\{(1000 \times A_{470}) - (1,82 \times \text{Clorofila } a)\} - (85,02 \times \text{Clorofila } b)]/198$ (Lichtenthäler, 1987). A partir dos valores obtidos para clorofilas, calculou-se a razão clorofila a/b .

Para cada acesso, 20 cladódios foram destacados da planta mãe para determinação do peso médio fresco. Posteriormente, os cladódios foram fragmentados, acondicionados em sacos de papel e mantidos em uma estufa de circulação forçada a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ até se atingir peso seco constante, obtendo-se assim a massa seca. A produtividade de matéria seca (t ha^{-1}) foi obtida com o produto da multiplicação do peso médio da massa seca dos cladódios pelo número total de cladódios por planta e pelo número de plantas por hectare.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e, em seguida, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores brutos das variáveis analisadas foram previamente transformados para $\log(x+2)$. Uma análise de componentes principais (ACP) também foi empregada. As análises foram realizadas por meio do software R 4.1 (R Development Core Team, 2019).

RESULTADOS

Observou-se elevada variabilidade para as variáveis fisiológicas e produtivas dos acessos em estudo, obtendo-se diferenças significativas entre esses materiais ($p < 0,01$). Melhor desempenho relacionado a captação de CO_2 (A) foi obtido com o acesso 49, atingindo-se $4,53\ \mu\text{mol de CO}_2\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$. Em contraste, valores de A inferiores a $3\ \mu\text{mol de CO}_2\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ foram observados em 11 (46, 47, 51, 58, 60, 64, 75, 91, 94, 100 e 115) dos 15 acessos avaliados (Figura 3A).

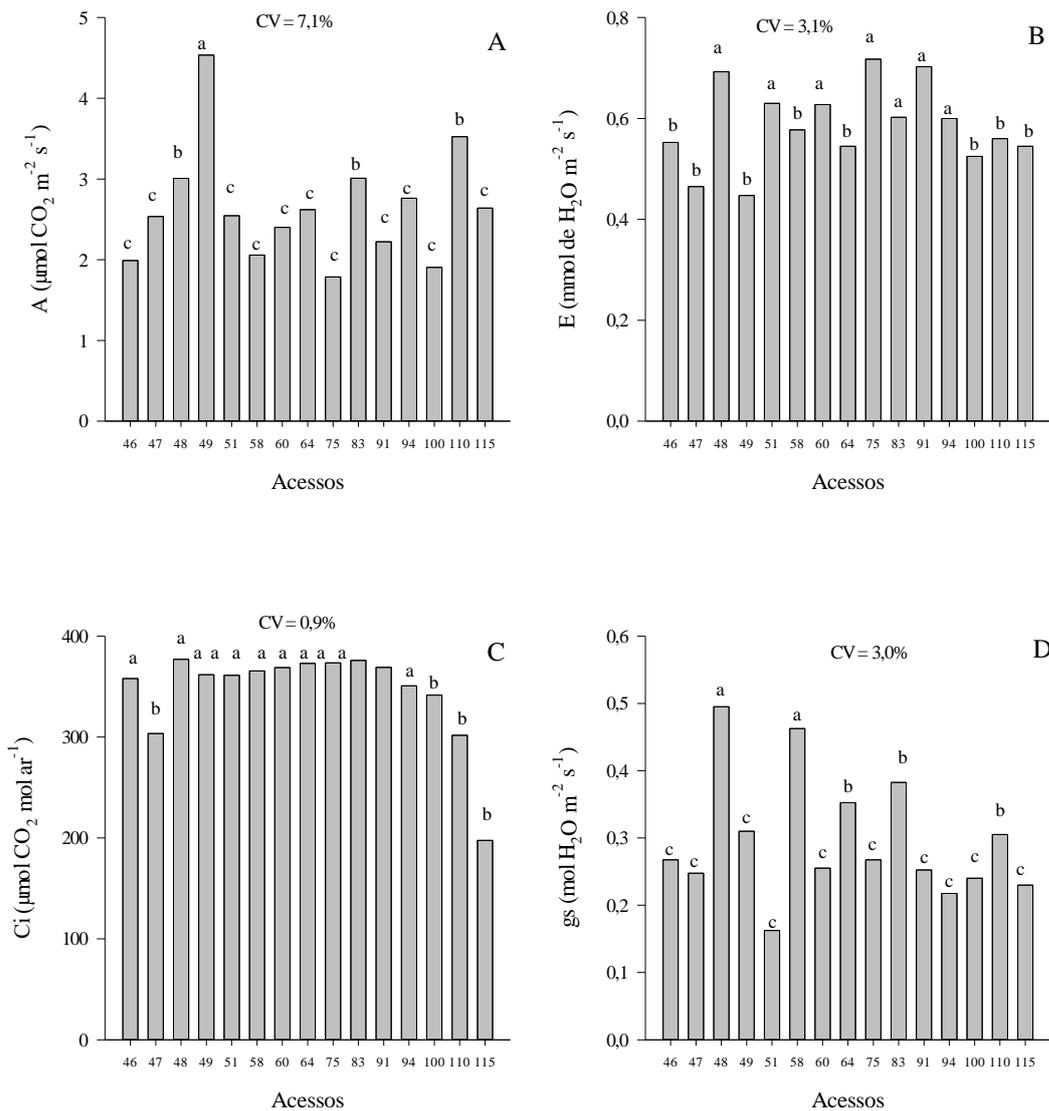


Figura 3 – Taxa de captação de CO_2 (A)(A), transpiração (E)(B), concentração interna de CO_2 (Ci)(C) e condutância estomática (gs)(D) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Transpiração (E) inferior a $0,6 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foi observada nos acessos 46, 47, 49, 58, 64, 100, 110 e 115, que diferiram estatisticamente dos demais materiais (Figura 3B). Para a concentração interna de CO_2 (Ci), obteve-se valores máximos de $377 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$ e mínimos de $197,5 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$ (Figura 3C). Três clusters foram formados, destacando-se o acesso 115 com os menores valores dessa variável. Maior condutância estomática (gs) foi atingida nos acessos 48 e 58, que se agruparam com gs superior a $0,46 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 3D).

O acesso 49 alcançou eficiência instantânea de uso da água (*EUA*) superior aos demais materiais em análise, atingindo $10,16 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$. Desempenho intermediário foi observado no acesso 110, com *EUA* de $10,16 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$. *EUA* inferior a $5,5 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$ também foi observada, formando-se dois clusters (c e d). No cluster c, agruparam-se os acessos 48, 94, 115, 64, 83 e 47, com *EUA* entre $4,39$ e $5,48 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$; já no d, observa-se os acessos 75, 91, 46, 100, 58, 60 e 51, que atingiram *EUA* entre $2,48$ e $4,09 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$ (Figura 4A).

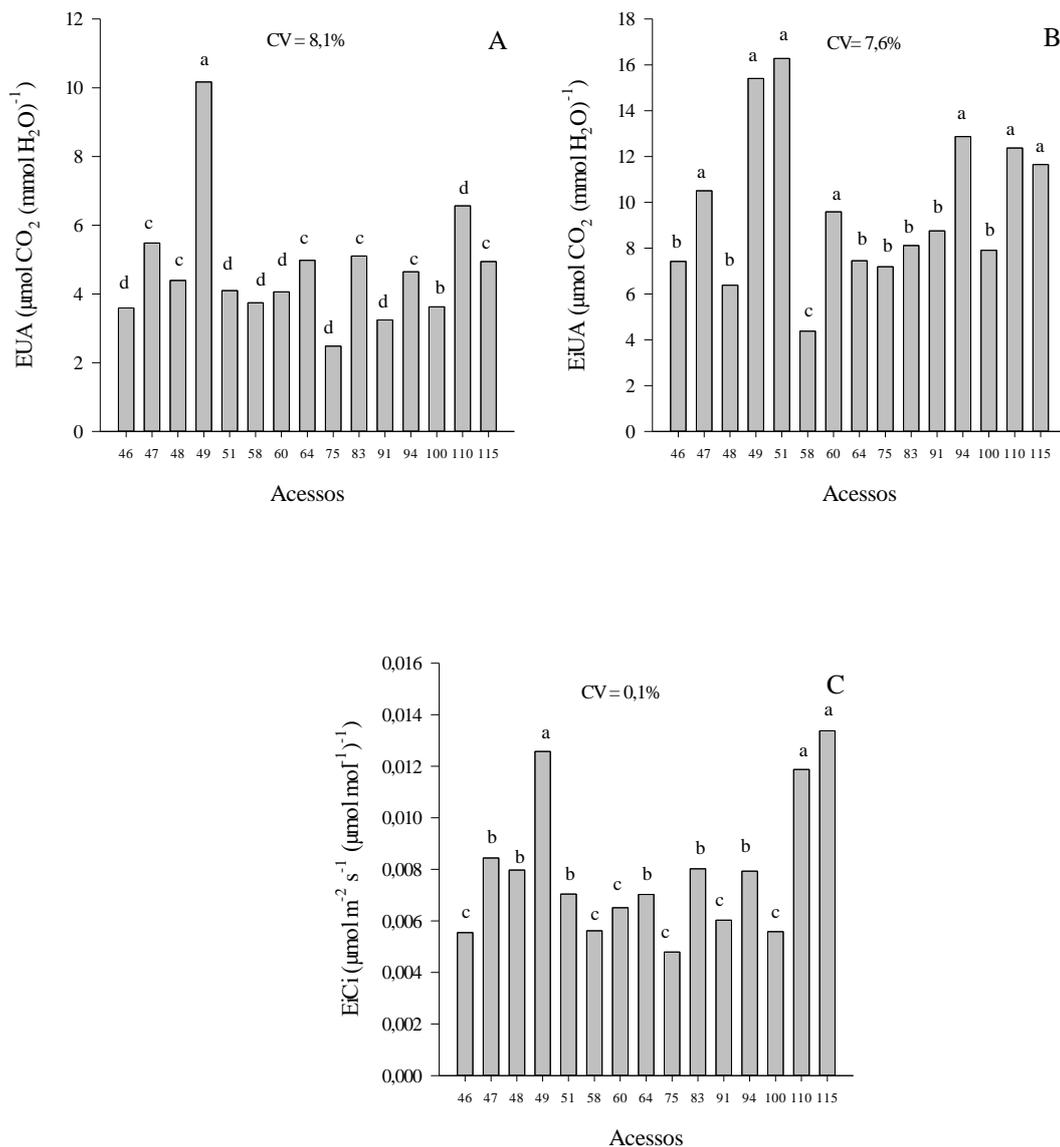


Figura 4 – Eficiência instantânea de uso da água (*EUA*)(A), eficiência intrínseca do uso de água (*EiUA*)(B) e eficiência instantânea de carboxilação (*EiCi*)(C) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de Eficiência Intrínseca do Uso de Água ($EiUA$) foram alcançados com os acessos 60, 47, 115, 110, 94, 49 e 51, com $EiUA$ entre $9,58$ e $16,28 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$ (Figura 4B). No tocante a Eficiência de Carboxilação Instantânea (EiC), os acessos 49, 110 e 115 se destacaram com EiC superior a $0,011 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ (Figura 4C).

Os acessos 48, 49, 51, 60, 64, 91, 100 e 110 se sobressaíram perante os demais com os maiores valores de clorofila a (Figura 5A), b (Figura 5B) e total (Figura 5C), com médias superiores a $0,10$, $0,035$ e $0,14 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

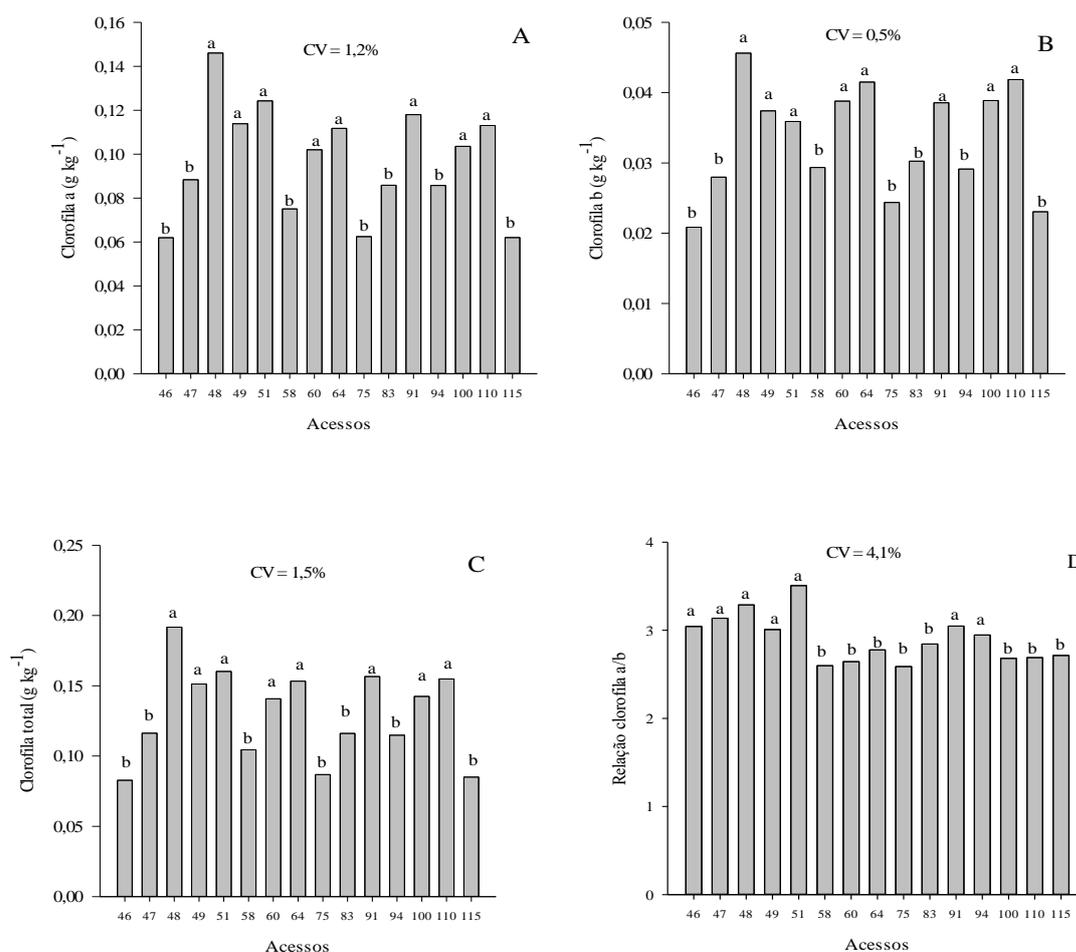


Figura 5 – Clorofila a (A), b (B) e total (C), e relação clorofila a/b (D) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Maior relação clorofila a/b foi verificada nos acessos 46, 47, 48, 49, 51, 91 e 94, nos quais se obteve relação superior a 2,9 (Figura 5D). O acesso 48 se destacou pelo maior teor de carotenoides, com concentração de $0,038 \text{ g kg}^{-1}$. Ainda para essa variável, as menores

concentrações ($< 0,024 \text{ g kg}^{-1}$) foram observadas nos acessos 46, 47, 58, 75, 83, 94 e 115 (Figura 6A).

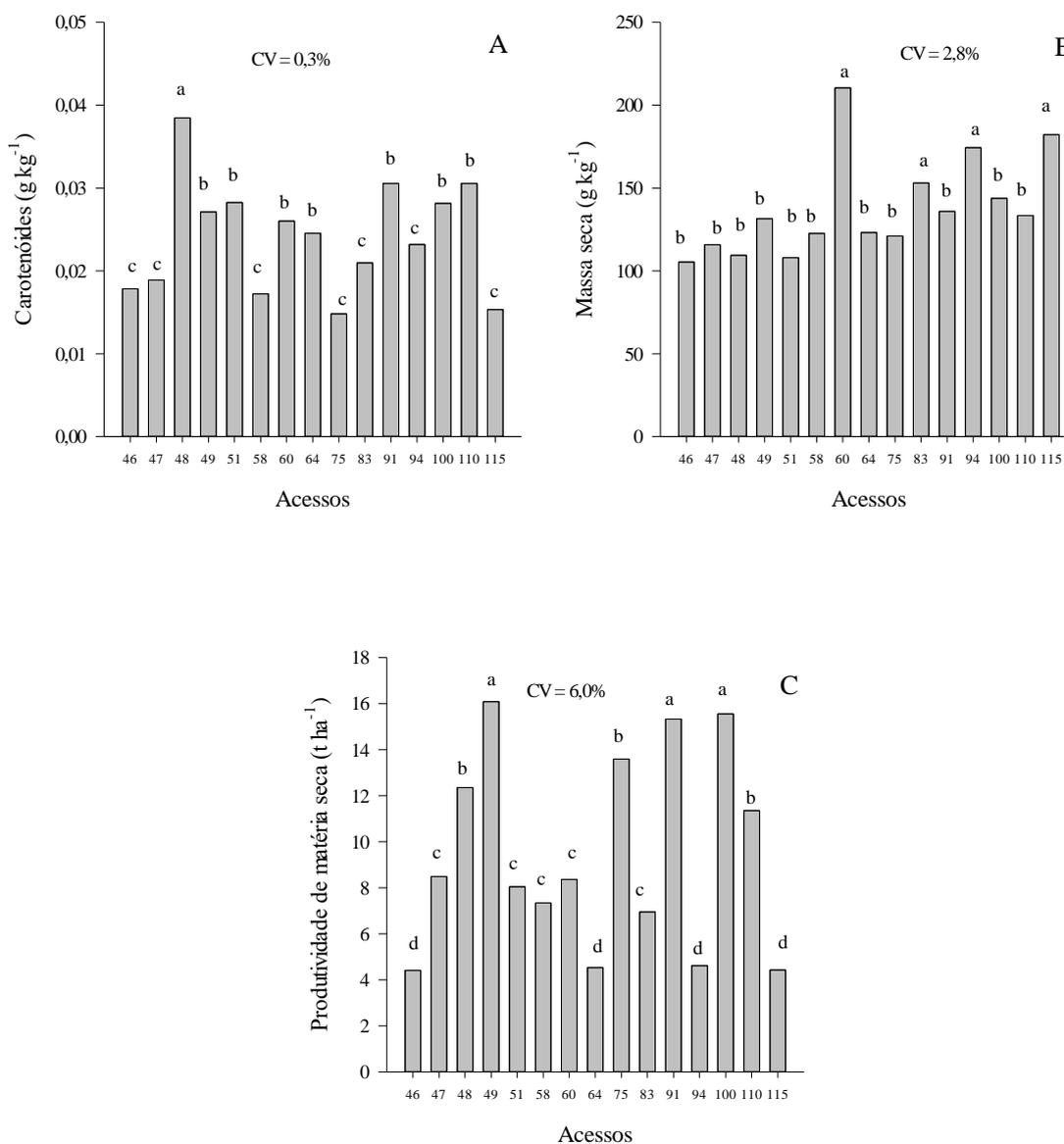


Figura 6 – Carotenoides (A), massa seca (B) e produtividade de matéria seca (C) de acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*, decorridos 365 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Plantas com massa seca superior a $150,0 \text{ g kg}^{-1}$ foram obtidas com os acessos 60, 83, 94 e 115 (Figura 6B). Para os demais acessos, obteve-se matéria seca entre $105,39$ e $143,80 \text{ g kg}^{-1}$. Elevada variabilidade produtiva foi observada entre os acessos, com as maiores produtividades de matéria seca ($> 15 \text{ t ha}^{-1}$) alcançadas com os acessos 49, 91 e 100. Os menores

rendimentos foram obtidos com os acessos 46, 64, 94 e 115, que atingiram produtividade abaixo de $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 6C).

A Análise de Componentes Principais (ACP) explicou 62% da variância original dos dados em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2) (Figura 7).

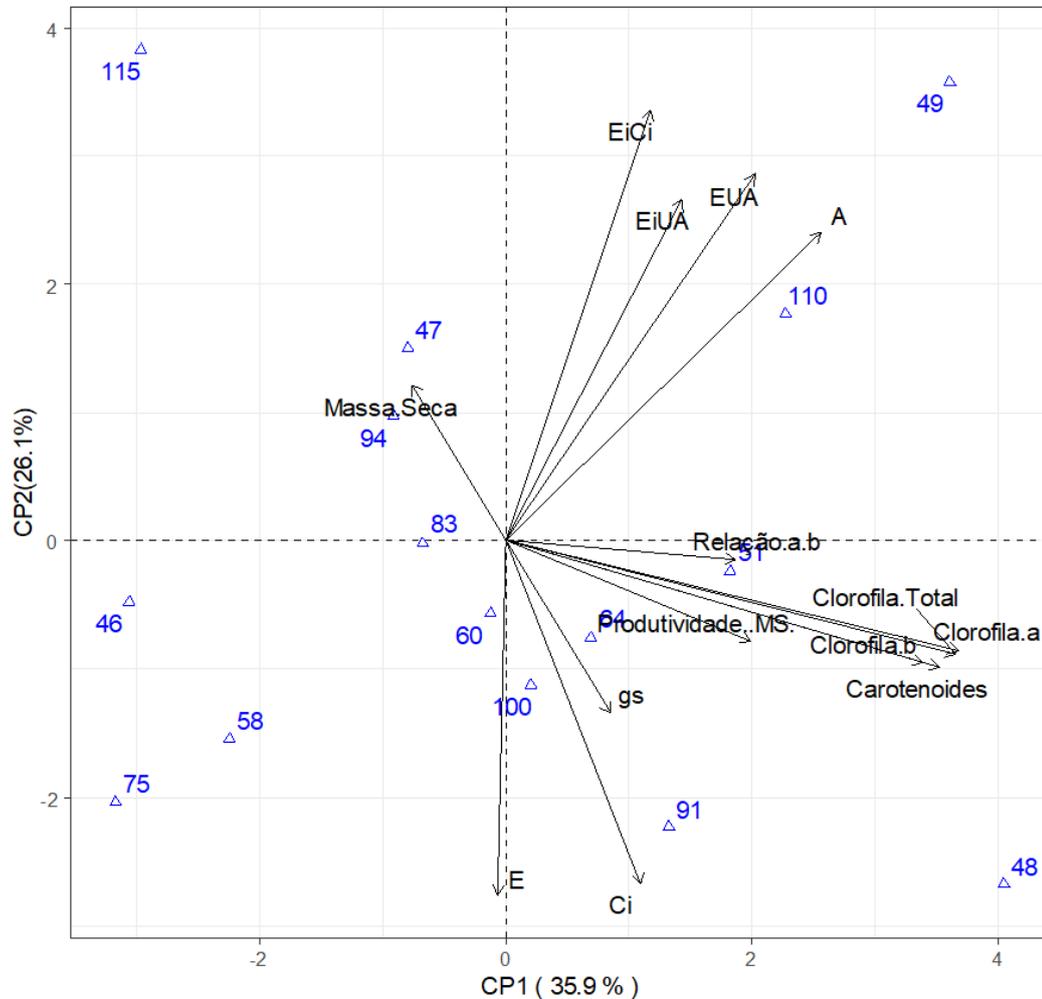


Figura 7 – Dispersão gráfica biplot de 15 acessos de *Opuntia* baseada em escores de 14 caracteres de fisiologia e produtividade, representados pelos dois primeiros componentes principais.

No eixo 1, responsável por agrupar 35,9% da explicação dos dados, verificou-se associação significativa entre Clorofila *a* ($r = 0,95$; $p < 0,01$), Clorofila total ($r = 0,94$; $p < 0,01$), Carotenoides ($r = 0,91$; $p < 0,01$), Clorofila *b* ($r = 0,87$; $p < 0,01$), *A* ($r = 0,66$; $p < 0,01$), *EUA* ($r = 0,52$; $p < 0,05$) e Produtividade de matéria seca ($r = 0,51$; $p < 0,05$) (Figura 6). Resultados que demonstram que acessos que possuem cladódios com maior concentração de pigmentos atingem também maiores taxas de captação de CO_2 , maior eficiência instantânea do uso da água

e, por conseguinte, maior produtividade de matéria seca. Para esse eixo, destacam-se os acessos 48 e 49.

No eixo 2 da ACP, que reuniu 26,1% da variância dos dados, observou-se forte participação das variáveis de trocas gasosas, com associação significativa entre $EiCi$ ($r = 0,87$; $p < 0,01$), EUA ($r = 0,74$; $p < 0,01$), $EiUA$ ($r = 0,68$; $p < 0,01$) e A ($r = 0,62$; $p < 0,01$), que contrastaram com a Ci ($r = -0,69$; $p < 0,01$) e E ($r = -0,71$; $p < 0,01$) (Figura 7). O que evidencia que para os acessos aqui avaliados, maior eficiência instantânea e intrínseca do uso da água, assim como maior eficiência de carboxilação instantânea, são dependentes de melhor desempenho na captação de CO_2 .

DISCUSSÃO

Os resultados desse estudo colaboram para ampliar o conhecimento acerca dos aspectos fisiológicos de acessos de *Opuntia*, informações que ainda são escassas e restritas principalmente a materiais já domesticados (Souza et al., 2019; Araújo et al., 2022; Souza et al., 2022). Esses achados são particularmente importantes por abrangerem acessos de espécies com resistência à *Dactylopius opuntiae*, e que podem contribuir para subsidiar a recomposição dos campos de produção de *Opuntia* no Brasil.

A captação de CO_2 (A) observada no acesso 49 ($4,53 \mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) é similar à verificada para variedades cultivadas de *Opuntia* no Semiárido Brasileiro. Em épocas de maior disponibilidade hídrica, como a verificada no momento das análises desse estudo, Araújo et al. (2022) reportam A de $6,06 \mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a variedade “Baiana” e de $3,98 \text{ } 06 \mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a variedade “Miúda”, ambas pertencentes a *O. cochenillifera* (L.) Salm Dyck subgênero *Nopalea*. No entanto, destaca-se que sob condições ótimas, espécies de *Opuntia*, como, por exemplo *O. ficus-indica* (L.) Mill, podem alcançar A de até $18 \mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Inglese et al., 2017).

Os menores valores de A ($< 3 \mu\text{mol de } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) verificados nos acessos 46, 47, 51, 58, 60, 64, 75, 91, 94, 100 e 115, podem ser um indicativo do menor grau de domesticação desses materiais, visto que, os aspectos fisiológicos de *Opuntia* se mostram dependentes, entre outros fatores, do gradiente de domesticação (Navarrete et al., 2021). É importante frisar que, em Cactaceae, embora o mecanismo CAM confira uso eficiente da água, também é responsável por gerar crescimento lento. No entanto, o processo de seleção e domesticação, propiciou que espécies de *Opuntia* se tornassem mais produtivas que outras espécies de cactos (Dubeux Junior et al., 2021).

A transpiração (E) dos acessos 46, 47, 49, 58, 64, 100, 110 e 115 ($< 0,6 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi inferior aos demais acessos em análise e também a outras espécies de *Opuntia*, como, por exemplo, *Opuntia stricta* (Haw.) que, também nas condições do semiárido da Paraíba e na estação chuvosa, atingiu valores máximos de $1,61 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Souza et al., 2022). Resultados que sugerem que esses acessos possuem uma estrita estratégia de regulação hídrica para conservar a água mesmo em condições de boa disponibilidade, situação também já reportada em outras espécies de Cactaceae (Lina & Eloisa, 2018).

Os baixos valores de concentração interna de CO_2 (C_i) são derivados da disponibilidade de água no solo e da condutância estomática (g_s) (Araújo et al., 2022). Ressalta-se que a g_s de todos os acessos em estudo foi superior a $0,1 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ demonstrando a ausência de déficit hídrico (Flexas et al., 2014). Além da presença de umidade no solo durante o período de análise, o acúmulo de água nos cladódios atua como um tampão para manter o turgor no tecido fotossintético, o que viabiliza que o cladódio continue fotossintetizando durante os períodos de seca (Inglese et al., 2017).

Os resultados também explicitam a notável eficiência instantânea de uso da água (EUA) de *Opuntia*, em especial do acesso 49 ($10,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$). Essa variável é relevante por se um indicativo de estabilidade e de garantia da produção, principalmente em regiões com ocorrência de secas ou com distribuição irregular de chuvas, como é o caso do Semiárido do Brasil (Dubeux Junior et al., 2021). Plantas com mecanismo CAM perdem de 50,0 a 100,0 g de água por grama de CO_2 fixado, contrastando com as plantas C_3 e C_4 , que podem perder de 400,0 a 500,0 g e de 250,0 a 300,0 g de água por grama de CO_2 fixado, respectivamente (Edvan et al., 2020).

Os teores de pigmentos encontrados nesse estudo são superiores aos reportados por Jardim et al. (2021) para *Opuntia stricta* (Haw.), no qual se obteve concentrações de 0,074 e 0,023 g kg^{-1} de clorofila total e carotenoides, respectivamente. As clorofilas a , b e os carotenoides são utilizados pelas plantas no processo de captura de luz para a fotossíntese; ainda, as clorofilas a e b atuam como pigmentos protetores em condições de supersaturação de luz, e os carotenoides estão envolvidos na fotoproteção e fotorreparação (Rosa et al., 2016). Esses pigmentos se constituem como bons indicadores não só da atividade da fotossíntese, mas também do estado nutricional e da presença de condições de estresse (Piovan et al., 2015). Ressalta-se que uma maior relação clorofila a/b como a observada nos acessos 46, 47, 48, 49, 51, 91 e 94, é um indicador útil do metabolismo da planta, visto que esta relação está positivamente correlacionada com a proporção dos núcleos do fotosistema II (PSII) com o

complexo coletor de luz II (LHCII), de modo que, durante a fotossíntese, os núcleos PSII da planta recebem energia de excitação do LHCII periférico, ativando assim o aparato fotossintético (Ramírez-Olvera et al., 2019).

Acessos como 60, 83, 94 e 115 que alcançaram maior proporção de matéria seca ($> 150,0 \text{ g kg}^{-1}$) tendem a possuir maior proporção de fibras, o que representa um mecanismo de proteção contra a perda de água e ataque de patógenos (Ventura-Aguilar et al., 2017).

A produtividade de matéria seca dos acessos 49, 91 e 100 ($> 15 \text{ t ha}^{-1}$) é similar a observada em variedades já cultivadas de *Opuntia*. Amorim et al. (2015) analisaram a produtividade de 11 variedades de *O. cochenillifera* (L.) Salm Dyck subgênero *Nopalea* e observaram produção de matéria seca entre 6,31 e 16,08 t ha^{-1} . Já para *Opuntia stricta* (Haw.), Pereira et al. (2021) reportam produtividade de até 23,66 t ha^{-1} de matéria seca. Esses resultados evidenciam a potencialidade de uso desses materiais para ampliar a base genética dessa cultura no Semiárido do Brasil.

Os resultados do eixo 1 (CP1) da ACP demonstram a importância dos pigmentos para melhor desempenho produtivo dos acessos em estudo. De fato, em acessos de *Opuntia*, maiores concentrações de clorofila *a*, *b* e total promovem uma melhora na atividade da PEPC (fosfoenolpiruvato carboxilase), auxiliando na fixação de CO_2 (Jardim et al., 2021), o que possibilita maior eficiência fotossintética e melhor acúmulo de matéria seca (Araújo et al., 2022; Souza et al., 2022).

CONCLUSÕES

Variabilidade nas características fisiológicas e produtivas foi identificada para acessos de *Opuntia* com resistência à *Dactylopius opuntiae*.

O acesso 49 se destacou pelo melhor desempenho na captação de CO_2 (A) e na eficiência instantânea do uso da água (EUA), e junto com os acessos 91 e 100, alcançou a maior produtividade de matéria seca.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMORIM, P. L. D.; MARTUSCELLO, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. T. D.; CUNHA, D. D. N. F. V. D.; JANK, L. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 230-238, 2015.

ARAÚJO, J. S.; SOUZA, J. T. A.; FÉLIX, E. S.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; LIRA, E. C. Gas exchange in genotypes of *Nopalea cochenillifera* in different seasons and evaluation times. **Acta Botanica Croatica**, v. 81, n. 2, p. 177-184, 2022.

BATISTA, M. C.; NASCIMENTO, R.; ALMEIDA, I. V. B.; MEDEIROS, L. T. V.; SOUZA, J. T. A.; SANTOS, J. P. O.; CARTAXO, P. H. A.; ARAÚJO, J. R. E. S. Production and selection of accessions of *Opuntia* spp. with resistance to false carmine cochineal. **Comunicata Scientiae**, v. 13, p. e3869, 2022.

CIRIMINNA, R.; CHAVARRÍA-HERNÁNDEZ, N.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, A. I.; PAGLIARO, M. Toward unfolding the bioeconomy of nopal (*Opuntia* spp.). **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 6, p. 1417-1427, 2019.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; 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. e114890, 2021.

EDVAN, R. L.; MOTA, R. R. M.; DIAS-SILVA, T. P.; NASCIMENTO, R. R.; SOUSA, S. V.; SILVA, A. L.; ARAÚJO, M. J.; ARAÚJO, J. C. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. e10040, 2020.

FLEXAS, J.; DIAZ-ESPEJO, A.; GAGO, J.; GALLÉ, A.; GALMÉS, J.; GULÍAS, J.; MEDRANO, H. Photosynthetic limitations in Mediterranean plants: a review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 103, p. 12-23, 2014.

HORIBE, T. Cactus as Crop Plant—Physiological Features, Uses and Cultivation—. **Environmental Control in Biology**, v. 59, n. 1, p. 1-12, 2021.

INGLESE, P.; LIGUORI, G.; BARRERA, E. Ecophysiology and reproductive biology of cultivated cacti. In: INGLESE, P. et al. (Eds), **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear crop ecology, cultivation**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Rome, 2017, p. 43-50.

JARDIM, A. M. R. F.; SANTOS, H. R. B.; ALVES, H. K. M. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; SOUZA, L. S. B.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SOUZA, M. S.; ARAÚJO, G. G. L.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, T. G. F. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 421-430, 2021.

KUMAR, S.; PALSANIYA, D. R.; KUMAR, T. K.; MISRA, A. K.; AHMAD, S.; RAI, A. K.; SARKER, A.; LOUHAICHI, M.; HASSAN, S.; LIGUORI, G.; GHOSH, P. B.; GOVINDASAMY, P.; MAHAWER, S. K.; BHARGAVI, H. A. Survival, morphological variability, and performance of *Opuntia ficus-indica* in a semi-arid region of India. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 2022, p. 1-18, 2022.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, New York, v.148, p.350-382, 1987.

- LINA, A.; ELOISA, L. How do young cacti (seeds and seedlings) from tropical xeric environments cope with extended drought periods?. **Journal of Arid Environments**, v. 154, p. 1-7, 2018.
- MAZZEO, G.; NUCIFORA, S.; RUSSO, A.; SUMA, P. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 167, n. 1, p. 59-72, 2019.
- NAVARRETE, M. C. L.; PEÑA-VALDIVIA, C. B.; TREJO, C.; CHACÓN, D. P.; GARCÍA, R.; MARTÍNEZ, E. 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.
- PEREIRA, J. D. S.; CAVALCANTE, A. B.; SIMÕES, W. L.; VOLTOLINI, T. V. Forage yield, structural responses and chemical composition of spineless cactus Orelha de Elefante Mexicana in different water depths and irrigation frequencies. **Ciência Rural**, v. 51, 2021.
- PIOVAN, A.; CANIATO, R.; FILIPPINI, R.; CHIESURA, F.; VECCHIA, F. D. Morphological and phytochemical aspects of three alien *Opuntia* species on Euganean Hills in North-Eastern Italy. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 149, n. 4, p. 788-796, 2015.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2019. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.
- RAMÍREZ-OLVERA, S. M.; TREJO-TÉLLEZ, L. I.; PÉREZ-SATO, J. A.; GÓMEZ-MERINO, F. C. Silicon stimulates initial growth and chlorophyll a/b ratio in rice seedlings, and alters the concentrations of Ca, B, and Zn in plant tissues. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 16, p. 1928-1940, 2019.
- ROSA-MANZANO, E.; FLORES, J.; DELGADO-SÁNCHEZ, P. Effects of spine-shading on aspects of photosynthesis for three cactus species. **Botanical Sciences**, v. 94, n. 2, p. 301-310, 2016.
- SANTOS, D.; LIRA, M.; DUBEUX JÚNIOR, J.; SANTOS, M.; MELLO, A. Recomendação de adubação para a palma forrageira. In: F. CAVALCANTI (ed.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação**. Instituto Agrônômico de Pernambuco, Recife: 2008. p. 180.
- SOUZA, J. T. A.; ARAÚJO, J. S.; FÉLIX, E. S.; ALVES, R.C.; OLIVEIRA FILHO, T. J.; LIRA, E.C. CO₂ capture and water use efficiency in *Opuntia stricta* (Haw.) at different seasons and evaluation times. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 16, n. 2, p. e13525, 2022.
- SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, J. S.; RAMOS, J. P. F.; NASCIMENTO, J. P.; MEDEIROS, L. T. V. Gas exchanges and water-use efficiency of *Nopalea cochenillifera* intercropped under edaphic practices. **Comunicata Scientiae**, v. 11, e3035, 2020.
- SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; RAMOS, J. P. F.; SOUSA, W. H.; ARAÚJO, J. S.; LIMA, G. F. C.; DIAS, J. A. Rendimento quântico e eficiência de uso da água de genótipos de

palma forrageira no Semiárido brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 262, p. 268-273, 2019.

TORRES, J. B.; GIORGI, J. A. Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): perspective from Pernambuco state, Brazil. **Phytoparasitica**, v. 46, n. 3, p. 331-340, 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.

ZEGHBIB, W.; BOUDJOUAN, F.; VASCONCELOS, V.; LOPES, G. Phenolic Compounds' Occurrence in *Opuntia* Species and Their Role in the Inflammatory Process: A Review. **Molecules**, v. 27, n. 15, p. e4763, 2022.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com esse estudo evidenciam a elevada variabilidade de *Opuntia*. Diferentes padrões morfológicos foram observados para os acessos em análise, achados que podem subsidiar a definição de espaçamento de cultivo desses materiais.

Contribuições significativas foram dadas no campo da fisiologia, visto que, os padrões de trocas gasosas de muitas das espécies dos acessos em estudo eram até então desconhecidos. Ainda, verificou-se que essas variáveis, em especial a taxa de captação de CO₂ e eficiência instantânea do uso da água (EUA) estão diretamente relacionadas com maiores produtividades de massa fresca e seca, e podem ser utilizadas para dar suporte na seleção de materiais mais resilientes e produtivos.

Floração foi observada apenas no acesso 49. No entanto, todas as flores foram abortadas, o que resultou na não obtenção de frutos. Resultados que demonstram que ações devem ser realizadas principalmente quanto a indução floral desses materiais. A produtividade de massa fresca e seca obtida para os acessos, em especial o 49, indicam o potencial de utilização de muitos desses acessos em programas de melhoramento genético, ampliando assim, a base genética desse gênero no Semiárido do Brasil.

APÊNDICES

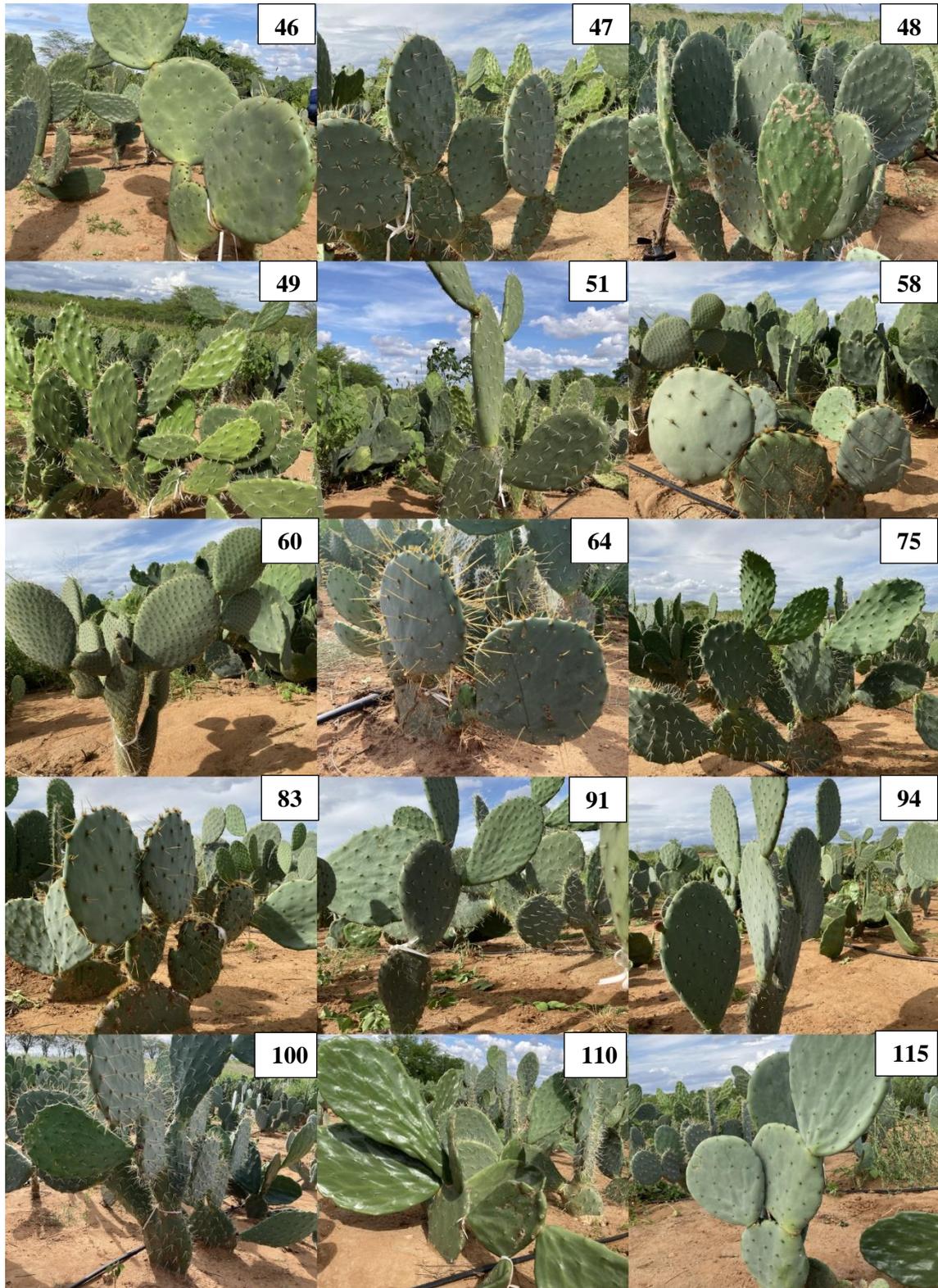


Figura 1 – Acessos utilizados no experimento, Soledade, Paraíba, 2022.

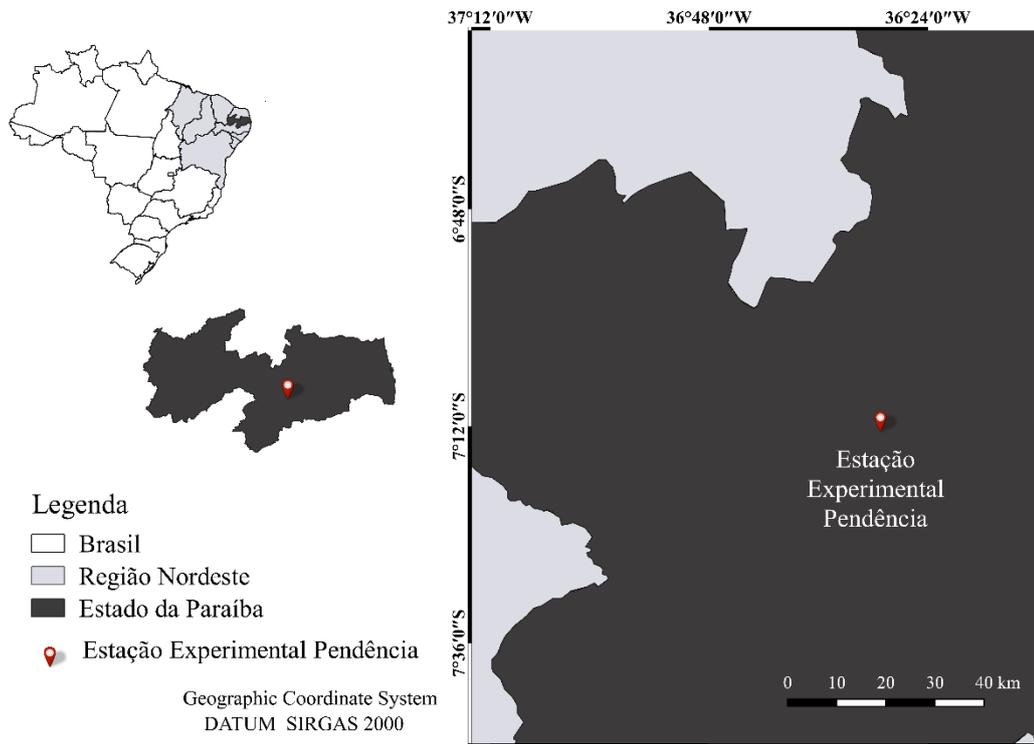


Figura 2 – Localização da Estação Experimental Pendência, Soledade, Paraíba.