



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
DOUTORADO EM FITOTECNIA

**DIVERSIDADE GENÉTICA E QUALIDADE DE FRUTO DE *Cereus jamacaru*
(CACTACEAE)**

MOSSORÓ

2020

ELENEIDE PINTO GURGEL

**DIVERSIDADE GENÉTICA E QUALIDADE DE FRUTO DE *Cereus jamacaru*
(CACTACEAE)**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia Pós-colheita

Orientadora: Patrícia Lígia Dantas de Moraes, Profa. Dra.

Coorientadora: Ioná Santos Araújo Holanda, Profa. Dra.

MOSSORÓ

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G978d Gurgel, Eleneide Pinto.

DIVERSIDADE GENÉTICA E QUALIDADE DE FRUTO DE
Cereus jamacaru (CACTACEAE) / Eleneide Pinto
Gurgel. - 2020.

99 f. : il.

Orientadora: Patrícia Lígia Dantas de Moraes.
Coorientadora: Ioná Santos Araújo Holanda.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2020.

1. Mandacaru. 2. Descritores fenotípicos. 3.
Marcadores RAPD. 4. Compostos bioativos. 5. Pós-

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ELENEIDE PINTO GURGEL

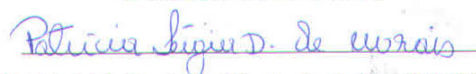
**DIVERSIDADE GENÉTICA E QUALIDADE DE FRUTO DE *Cereus jamacaru*
(CACTACEAE)**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia pós-colheita

Defendida em: 09/03/2020

BANCA EXAMINADORA



Patrícia Lígia Dantas de Moraes, Profa. Dra. (UFERSA)

Presidente



Ioná Santos Araújo Holanda, Profa. Dra. (UFERSA)

Membro Examinador



Cynthia Cavalcanti Albuquerque, Profa. Dra. (UERN)

Membro Examinador



Elizangela Cabral dos Santos, Profa. Dra. (UFERSA)

Membro Examinador



Maria Auxiliadora Coêlho de Lima, Profa. Dra. (EMBRAPA)

Membro Examinador



Matheus de Freitas Souza, Prof. Dr. (UFERSA)

Membro Examinador

*“As flores, as mais belas flores,
Giovanna e Giulia,
Os pedacinhos de felicidade,
Recheados de amor,
Que ganhei do criador”.*
Ofereço!

*A minha família, pela
colaboração e participação
efetiva nesta caminhada,
dedico!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus criador do universo, por me inspirar e segurar minha mão nos momentos em que pensei em desistir.

Agradeço ao meu núcleo familiar Giovanna (filha), Giulia (filha), João Batista (esposo), Isabel (mãe), Antônio (pai), Edilene (irmã) e Letícia (sobrinha) por serem meu porto seguro, por participar efetivamente nas coletas e nas atividades dessa tese.

A UFERSA pela oportunidade de cursar este maravilhoso curso, sou muito grata por ter iniciado e concluído minha vida acadêmica nesta casa.

A CAPES pela concessão da bolsa durante os anos de 2016 e 2017.

A todos os professores e professoras da minha vida, desde a que acolheu-me no primeiro ano escolar, a Professora Saúde de Costa, a que me alfabetizou Viviane e a tantos outros que inspiraram-me e despertaram em mim a paixão pelos estudos.

Agradeço a minha orientadora Dra. Patrícia Ligia pela dedicação, compreensão e ensinamentos.

Agradeço a minha coorientadora Dra. Ioná Santos Araujo Holanda pelo incentivo, dedicação e colaboração durante as análises moleculares, sem a sua ajuda não teria conseguido!

Agradeço a Banca Examinadora pelas valorosas contribuições.

A professora Dra. Cynthia e a Marciana por serem meu berço e minhas inspirações no mundo acadêmico.

Agradeço a seu Chiquinho, Bastinho, e a Toinho (papai) por serem, de forma voluntária e amorosa, os mateiros nos locais de coleta.

Agradeço aos meus colegas de pós-graduação Rydley, Fernando, Jorge, Marlenildo, Thalysson, Victor e Carla pela ajuda nas coletas, nas correções e nas análises.

Aos motoristas do setor de transporte, pela disponibilidade e ajuda.

Ao meu aluno Guilherme Carvalho pela confecção do cordel presente na epígrafe, muito obrigada por dividir conosco o seu dom!

Aos colegas de trabalho Joelma, Karol, Fernanda e Magnaide por compreenderem que minhas ausências se fizeram necessárias para que este trabalho pudesse ser concluído.

As técnicas de Laboratório Naama e Juliana pela disponibilidade e ajuda durante as análises.

A minha amiga Atarissis de Moraes Dias, por ter acompanhado toda minha trajetória acadêmica, pelos conselhos, por dividirmos os momentos tristes e por multiplicarmos os momentos felizes.

A Adrienne, Jéssica, Josy e Halainne pelo apoio e pelo incentivo.

Aos Heróis pelo compartilhamento de angústias e desabafos.

A demais amigos e familiares que oraram e sonharam com essa conquista.

A Associação dos Estudantes de Nível Técnico e Superior de Apodi pela utilização do transporte, em especial aos motoristas que por muitas vezes esperaram-me pacientemente.

Aos meus alunos e companheiros de trabalho da Escola Estadual Sebastião Gurgel e da Escola Estadual Valdemiro Pedro Viana por me motivarem e por estarem sempre na torcida para que eu conseguisse.

Por fim a todos que contribuíram de forma direta e indireta para a realização desse trabalho, meu muito obrigada!

*Desviei de pau e pedra
Fui seguindo a minha sina.
Falar do resistente cardeiro,
É um assunto que me afina,
Nos meus versos vou falar,
Dessa planta nordestina.*

*Pense numa região linda,
É nosso amigo nordeste.*

*Digo isso meu amigo,
E não há quem me conteste.
Pois afinal somos a terra
Do famoso cabra da peste.*

*Embora a seca maltrate,
Embora o sol não tenha dó
Como um bom nordestino,
Não sou de trabalhar só,
É pedir forças ao pai,
E arrochar esse nó.*

*O nordeste por si só
É símbolo de resistência
Do seu povo sofrido
Que luta pela existência
Que em meio a tantas lutas
Mantêm sua independência.*

*Eu introduzi isso tudo
Para falar no meu terreiro,
Agora puxo o assunto
Sendo assim bem verdadeiro
Na hora que eu começo
A falar sobre o cardeiro.*

*Essa exuberante planta
Na caatinga se encontra
Mostra para o sol poderoso
Que ela não se afronta
Que pode vir o que for
Sua coluna está pronta.*

*Passar por longas estiagens
No meio do tabuleiro
No roçado que é muito seco*

*Nas terras de um fazendeiro
Seu fruto é vê um chapéu de couro
Na cabeça d'um vaqueiro.*

*E não se deixe enganar
Por sua derme espinhosa
Essa característica marcante
Não a faz menos glamorosa
Afinal viver é mais importante
Que possuir uma rosa.*

*Mas isso não quer dizer
Que essa planta seja luto
Pois em meio a tanta seca
Deixa-nos em espasmo absoluto
Quando coloca para fora
O seu adocicado fruto.*

*Ao escurecer a festa é linda
Quando ela abre a flor sua
A noite fica iluminada,
Vendo o cacto disputar a beleza
De pau a pau com a lua.*

*Logo no dia seguinte
Quando o sol esquenta novamente
Seus espinhos mostram a força
De quem é forte realmente
É esperar pela chuva
E tocar a vida para frente.*

*Seja forte como o cardeiro
Não se deixe desanimar.
E nesse meu último verso
Quero aqui te falar:
Mantenha a fé em Deus
Que o mais ele fará.*

Guilherme Henrique Gomes Carvalho, 2018.

RESUMO

O mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), é uma cactácea nativa do bioma Caatinga, considerada uma planta de grande importância para a população do semiárido, pois, seus frutos são utilizados na alimentação humana e animal. No entanto, essa espécie ainda é subexplorada, principalmente pela ausência de uma cultivar que reúna características agronômicas desejadas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar a diversidade genética de *C. jamacaru* utilizando descritores morfológicos e moleculares da planta, e físico-químicos de seus frutos, bem como a caracterização pós-colheita de seus frutos. Foram utilizados 30 genótipos de mandacaru, coletados em três municípios potiguares, Apodi, Patú e Upanema. Foi observada diversidade genotípica e fenotípica entre os genótipos estudados, o que mostra que os caracteres morfológicos da planta e físico-químico dos frutos estão sofrendo plasticidade de acordo com as características ambientais a que estão expostas. Os frutos provenientes da população de Apodi-RN são maiores. Os frutos coletados em Patú-RN exibiram coloração de casca mais intensa, e tem os maiores teores de compostos bioativos e atividade antioxidante. Os frutos colhidos na população de Upanema apresentaram maior doçura. O descritor de maior importância para a divergência fenotípica foi o peso médio dos frutos. Os genótipos AP-06 e UP-01 por apresentarem maior distância genética podem ser utilizados em futuros cruzamentos que visem o melhoramento genético da espécie.

Palavras-chaves: Mandacaru. Descritores fenotípicos. Marcadores RAPD. Compostos bioativos. Pós-colheita.

ABSTRACT

Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), is a cactus native to the *Caatinga* biome, it's considered a plant of great importance for the population of the semi-arid region in the Brazil, as its fruits are used in human and animal food. Even so, this species is still under-exploited, mainly because of the absence of a crop that has the desired agronomic characteristics. Therefore, the objective of this work was the study of the genetic diversity of *C. jamacaru* using morphological and molecular descriptors of the plant, and physicochemical of its fruits, and post-harvest characterization. 30 (thirty) *Mandacaru* genotypes were used, they were collected in three cities in the State of Rio Grande do Norte (RN), Brazil, they are: Apodi, Patú and Upanema. Genotypic and phenotypic diversity was observed among the studied genotypes, showing that the plant's morphological and physicochemical characteristics of the fruits are suffering plasticity according to the environmental characteristics to which they are exposed. The fruits from the city of Apodi-RN are bigger. The fruits collected in Patú-RN exhibited more intense peel color, and has the highest levels of bioactive compounds and antioxidant activity. The fruits harvested in Upanema-RN showed greater sweetness. The most important descriptor for phenotypic divergence was the average weight of the fruits. The genotypes AP-06 and UP-01 can be used in future crosses because they present greater genetic distance, aiming at the genetic improvement of the species.

Keywords: *Mandacaru*. Phenotypic descriptors. RAPD markers. Bioactive compounds. Post-harvest.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 – Flor e frutos de *Cereus jamacaru*, a esquerda Flor de mandacaru, a direita *C. jamacaru* com frutos.....28
- Figura 2 – Frutos de Mandacaru (*Cereus jamacaru*), provenientes de diferentes populações do semiárido potiguar. A esquerda frutos intactos no início da pigmentação e a direita frutos cortados longitudinalmente.....29

CAPÍTULO II

- Figura 1 – Frutos de Mandacaru (*Cereus jamacaru*), provenientes de diferentes populações do semiárido potiguar. 1-a: frutos intactos no início da pigmentação; 1-b: frutos cortados longitudinalmente.....56
- Figura 2 – Porcentagem das variâncias entre ($\hat{\sigma}_{pop}^2$) e dentro ($\hat{\sigma}_d^2$) para caracteres morfológicos da planta e do fruto avaliados em três populações de *Cereus jamacaru*.....63
- Figura 3 – Dendrograma de indivíduos de três populações de *Cereus jamacaru*, gerado pelo método UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas padronizadas obtido em vinte e sete caracteres da planta e do fruto.....64
- Figura 4 – Dendrograma de indivíduos de três populações de *Cereus jamacaru*, gerado pelo método UPGMA a partir da matriz do complemento do índice de Jaccard obtido a partir de marcadores RAPD.....68

CAPÍTULO III

- Figura 1 – Frutos de Mandacaru (*Cereus jamacaru*), provenientes de diferentes populações do semiárido potiguar. 1-a: frutos intactos no início da pigmentação; 1-b: frutos cortados longitudinalmente.....88

Figura 2	–	Dendrograma de indivíduos de três populações de <i>Cereus jamacaru</i> gerado pelo método UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas padronizadas obtido em oito caracteres do fruto.....	92
Figura 3	–	Variância explicada, contribuição para os dois primeiros componentes principais e correlação entre sete caracteres relacionados à atividade antioxidante de frutos avaliados em três populações de <i>Cereus jamacaru</i>	93
Figura 4	–	Grupos de indivíduos de três populações de <i>Cereus jamacaru</i> formados pelo método K-Means.....	94

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1	– Descrição da localização dos genótipos de <i>Cereus jamacaru</i>	55
Tabela 2	– Média anual de precipitação* e características físico-químicas do solo** das populações estudadas	56
Tabela 3	– Sequência dos <i>primers</i> RAPD arbitrários empregados para amplificação de PCR-RAPD de <i>Cereus jamacaru</i>	59
Tabela 4	– Estimativas de F de Snedecor e de médias das populações de caracteres morfológicos da planta e físicos dos frutos avaliados em três populações de <i>Cereus jamacaru</i>	61
Tabela 5	– Estimativas de F de Snedecor e de médias das populações para caracteres físico-químicos de frutos avaliados em três populações de <i>Cereus jamacaru</i>	62
Tabela 6	– Contribuição de caracteres da planta e fruto para a divergência genética de indivíduos de três populações de <i>Cereus jamacaru</i>	65
Tabela 7	– Número total de fragmentos amplificados (NTFA), número total de fragmentos polimórficos (NTFP), porcentagem de polimorfismo (P%) e conteúdo de informação de polimorfismo (PIC) de iniciadores Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) selecionados para amplificação de genótipos de <i>Cereus jamacaru</i>	66
Tabela 8	– Diversidade genética dentro de três populações de <i>Cereus jamacaru</i> baseada em marcadores RAPD.....	67

Tabela 9	– Distância genética (Nei, 1978) (acima da diagonal) e Fluxo gênico (abaixo da diagonal) de três populações de <i>Cereus jamacaru</i> baseada em marcadores RAPD.....	67
Tabela 10	– Análise de variância molecular (AMOVA) de três populações de <i>Cereus jamacaru</i>	69

CAPÍTULO III

Tabela 1	– Descrição da localização das plantas de <i>Cereus jamacaru</i>	87
Tabela 2	– Média anual de precipitação*, temperatura, altitude e características físico-químicas do solo** das populações estudadas.....	88
Tabela 3	– Estimativas de F de Snedecor, variâncias entre e dentro e médias de sete caracteres relacionados à atividade antioxidante de frutos avaliados em três populações de <i>Cereus jamacaru</i>	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	ácido 3-etilbenzo-tiazolina-6-sulfônico
ACL	Altura do cladódio
ACR	Açúcares redutores
ACT	Açúcares totais
AES	Altura dos espinhos centrais
AFLP	Polimorfismos de comprimento de fragmento amplificados
APL	Altura total da planta
ATT	Acidez titulável
Aw	Clima tropical com estação seca no inverno
BTC	Betacianinas
BTX	Betaxantinas
BSA	Albumina de soro bovino
BSh	Clima quente e semiárido
CAM	Metabolismo ácido das crassuláceas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAT	Catalase
CCA	Cromaticidade da cor da casca
CCC	Coefficiente de correlação cofenética
CCP	Cromaticidade da cor da polpa
CE	Condutividade elétrica
CTC	Capacidade de Troca Catiônica

DAR	Diâmetro da aréola do cladódio
DCL	Diâmetro do cladódio
DLF	Diâmetro longitudinal do fruto
DNA	Ácido desoxirribonucleico
dNTPs	Desoxirribonucleotídeos fosfatados
DPPH	2,2-difenil-1-picrilidrazil
Dr	Doutor
Dra	Doutora
DTF	Diâmetro transversal do fruto
EAOs	Espécies ativas de oxigênio
ECL	Espessura do cladódio
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
ESF	Espessura da casca do fruto
FA	Flavonoides amarelos
FPO	Firmeza da casca do fruto
GPS	Referenciador geográfico de posição
GPX	Glutationaperoxidase
HCA	Tonalidade de cor da casca
HPO	Tonalidade de cor da polpa
IFF	Índice de formato do fruto
IPV	Início da pigmentação vermelha
ISSR	Sequências simples repetitivas
LCA	Luminosidade de cor da casca
LPO	Luminosidade de cor da polpa

mRNA	Ácido ribonucleico mensageiro
NCO	Número de costelas
NES	Número de espinhos por aréola
PANC	Plantas alimentícias não convencionais
PCR	Reação de polimerase em cadeia
POL	Polifenóis extraíveis totais
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIC	Conteúdo informativo de polimorfismo
PMF	Peso médio do fruto
RAPD	Polimorfismo de DNA amplificado ao acaso
REF	Rendimento do fruto
RSA	Relação sólidos solúveis e acidez titulável
SEEC	Secretaria de Educação e Cultura
SOD	Superóxido dismutase
SST	Sólidos solúveis
Taq	<i>Thermus aquaticus</i>
TBE	Tris/Borato/EDTA
UERN	Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semiárido
UPGMA	Método de grupos de pares não ponderados usando média aritmética
VIC	Vitamina C

LISTA DE SÍMBOLOS

® Marca registrada

% Porcentagem

INFORMAÇÕES DO PROPONENTE

Eleneide Pinto Gurgel, nascida aos 27 de janeiro de 1990 na cidade de Apodi no Estado do Rio Grande do Norte, filha do agricultor Antônio de Lisboa Gurgel e da gari Isabel Pinto Gurgel. Coursou toda educação básica (Ensino Fundamental I e II e Ensino Médio) em escolas da rede pública, no município de Apodi-RN. Gradou-se em 26 de março de 2013 em Ciências Biológicas (Bacharelado) na Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, onde no mesmo dia ingressou no Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais obtendo o título de mestre em 09 de março de 2015. Em 27 de abril de 2017 concluiu a Licenciatura em Ciências Biológicas na UERN. Ingressou no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semiárido em 1º de março de 2016, atualmente cursando o doutorado em Fitotecnia. Em 08 de abril de 2017, tornou-se professora efetiva da SEEC (secretaria de educação e cultura do estado do Rio Grande do Norte), lecionando as disciplinas de biologia e ciências na educação básica.

INTRODUÇÃO GERAL

O Bioma Caatinga, que ocupa a maior parte da Região Nordeste do Brasil, caracteriza-se por solos pouco férteis, baixos índices pluviométricos e diversificada riqueza em espécies vegetais alimentares, que ainda são desconhecidas ou são subexploradas comercialmente, limitando a utilização das potencialidades dessas espécies como fonte de nutrientes importantes para a dieta humana (SOUZA; CORREIA 2013).

Dentre essas espécies podemos destacar o mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) pertencente à família botânica Cactaceae, uma espécie endêmica da Caatinga (LIMA et al., 2015), que é utilizada na medicina popular para cura de inflamações uterinas, gripes, expectorações, cicatrizações e como antisséptico (CARTAXO et al., 2010). Ainda é considerada uma rica fonte de celulose, hemicelulose, pectina e outros constituintes químicos. Essas macromoléculas podem ter várias aplicações, tais como matéria-prima para a produção de fibra dietética, pectina industrial, bioadesivos, biopolímero, etanol, biogás, e nanocristais de celulose (OLIVEIRA et al., 2013).

Os frutos de mandacaru servem de alimento para aves e animais silvestres da região, contribuindo para a sustentabilidade e conservação da biodiversidade principalmente nos períodos de estiagem (LEAL et al., 2014; SANTANA NETO et al., 2015). Seus frutos também fazem parte da dieta humana, sendo consumidos *in natura*, na forma de geleias, iogurtes e sorvetes (FIDELIS et al., 2015; PASSOS, 2019; ROCHA et al., 2018).

Frutas silvestres tem despertado o interesse de fruticultores, pois além de serem adaptadas às condições locais, também contribuem para a diversificação em número de espécies cultivadas, uma vez que, os plantios comerciais são concentrados em poucas frutíferas, destacam-se os citros (laranja, limão e tangerina), com participação de 48,2 %, seguido da banana (16,7 %), abacaxi (6,7 %), coco-da-baía (6,5 %), melancia (5,2 %) e mamão (3,5 %), correspondendo ao total de 81,8 % das plantas cultivadas (GERUM et al., 2019).

A fruticultura é uma atividade crescente que gera emprego e renda, no entanto necessita de pesquisas com outras espécies, nativas e exóticas, visto que a introdução de novas espécies diminuiria a forte pressão do mercado consumidor de frutas tradicionais de clima tropical e subtropical, bem como possibilitaria a oferta de novas alternativas de frutas frescas para o consumo *in natura* e matéria prima para as indústrias (BATISTA et al., 2014).

A composição química dos frutos é influenciada não só pelo genótipo, mas pela região onde cresce. Dessa forma, pode haver mudanças no conteúdo de sólidos solúveis, na acidez, nos teores de vitamina C e nos compostos bioativos produzidos pela espécie (MDITSHWA et al., 2013). Além destes caracteres relacionados aos frutos, os morfológicos também devem ser atributos estudados, pois, em geral, fornecem a maior parte da informação usada na identificação prática de plantas, sendo vários destes usados na construção de hipóteses de relacionamentos filogenéticos (JUDD et al., 2009).

A caracterização da diversidade genética entre os genótipos de uma espécie tem um grande valor para o seu manejo, além de contribuir para a seleção de genótipos promissores e para o aumento das possibilidades de cruzamentos (LIMA et al., 2013). A caracterização molecular utilizando marcadores moleculares pode ser utilizada como ferramenta para estudos de diversidade genética, uma vez que permitem a detecção de polimorfismo genético sem influências ambientais e em qualquer fase do desenvolvimento de plantas ou a partir de cultura de células ou tecidos (FALEIRO et al., 2011).

Assim sendo, o conhecimento de como essas variáveis, bióticas (espécie, variedade, população, estágio de maturação e idade da planta) e abióticas (luminosidade, salinidade, pluviosidade, nutrição e sazonalidade) interferem na produção de substâncias bioativas e na morfologia de plantas, deve ser amplamente estudado. A partir da caracterização desses genótipos é possível contribuir para a seleção de espécimes com maior valor nutricional e funcional, garantindo ao consumidor a escolha mediante as características de interesse, e para possível uso em programas de melhoramento genético.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a diversidade genética e caracterizar os frutos de *Cereus jamacaru* provenientes de populações nativas de diferentes localidades do Semiárido.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I REVISÃO DE LITERATURA	267
1.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE <i>Cereus jamacaru</i> DC.	26
1.2 CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR	30
1.2.1 Marcadores moleculares	31
1.2.2 Marcador do <i>DNA</i> polimórfico amplificado ao acaso (RAPD)	32
1.2.3 Estudo de diversidade genética em <i>Cereus jamacaru</i>	33
1.3 QUALIDADE DO FRUTO	34
1.3.1 Características físicas dos frutos	34
1.3.2 Caracterização química dos frutos	35
1.4 INFLUÊNCIA DE FATORES ABIÓTICOS E BIÓTICOS NA QUALIDADE DOS FRUTOS	39
REFERÊNCIAS	42
CAPÍTULO II DIVERSIDADE GENÉTICA ENTRE INDIVÍDUOS DE <i>Cereus jamacaru</i> (CACTACEAE)	52
2.1 INTRODUÇÃO	53
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	54
2.3 RESULTADOS	61
2.4 DISCUSSÃO	61
2.5 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS	74
CAPÍTULO III COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM FRUTOS DE <i>Cereus jamacaru</i> (CACTACEAE) ENTRE E DENTRO DE POPULAÇÕES DO SEMIÁRIDO	81
3.1 INTRODUÇÃO	82
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	83
3.3 RESULTADOS	87
3.4 DISCUSSÃO	94
3.5 CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS	94

CAPÍTULO I

REVISÃO DE LITERATURA

1.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE *Cereus jamacaru* DC.

A família Cactaceae é composta por espécies dicotiledôneas pertencentes à divisão Magnophyta. Nativas do Novo Mundo (Austrália, Nova Zelândia, África do Sul, Estados Unidos, Argentina, Chile, Uruguai, Brasil, México, Canadá, China e Índia), que foram dispersas para outras localidades principalmente por pássaros e outros dispersores, como macacos e lagartos. São plantas endêmicas das Américas e se distribuem desde o Norte do Canadá até a Patagônia argentina, suportando os frios das planícies norte-americanas e as intensas secas e elevadas temperaturas dos desertos sul-americanos (FERNANDES, 2013).

A família Cactaceae (Juss.) possui mais de 125 gêneros e 2.000 espécies presentes em todo o mundo. O Brasil é considerado o terceiro maior centro de diversidade desta família, com 39 gêneros e 260 espécies distribuídas em todo o seu território, o que corresponde a cerca de 30% dos gêneros existentes no Novo Mundo. Nesse país, a maior variedade de cactaceae encontra-se na Região Nordeste, no bioma Caatinga, com cerca de 24 gêneros, com destaque para *Cereus*, *Opuntia* e *Pilosocereus*, e 88 espécies, as quais são muito importantes para a conservação da biodiversidade local. Os frutos de muitas destas espécies são consumidos, sendo importantes para a sobrevivência da fauna local, principalmente nos períodos de intensa estiagem (SALES et al., 2014, BRAVO FILHO, et al., 2018).

A palavra *Cereus* significa "tocha" em latim. O gênero recebe esta nomeação devido à forma do candelabro do primeiro cacto descrito do gênero (OLIVEIRA et al., 2013). No gênero *Cereus*, podemos destacar a espécie *Cereus jamacaru*, conhecida popularmente como mandacaru, cardeiro e chapéu de vaqueiro, um cacto colunar que é endêmico do bioma Caatinga. Que é propagado tanto sexualmente (utilizando sementes) quanto assexuadamente (utilizando fragmentos dos cladódios).

É utilizado como planta ornamental e como forrageira (GOMES et al., 2014). Na medicina popular, o infuso ou decoto da raiz é utilizado para doenças renais e infecção urinária (SILVA et al., 2011). O chá do miolo do caule do mandacaru é utilizado para diminuir vômitos e infecções renais e para tratar prisão de ventre. Já o chá dos cladódios do mandacaru é utilizado para aliviar gripes e diminuir secreções nasais (ROCHA et al., 2018). Os polissacarídeos de arabinogalactanos extraídos de seus cladódios são utilizados como agentes fitoterapêuticos no tratamento de úlceras gástricas (BEVILAQUA et al., 2015).

Esta planta possui porte arbóreo (Figura 1), crescimento lento, e desenvolve-se em solos rasos, em áreas mais secas do Semiárido nordestino, podendo chegar a 10 metros de altura, dependendo das condições de cultivo. Possui caule fotossintetizante, suculento e com aréolas circulares, distantes de 2 a 5 cm entre si, sendo maiores no tronco principal, e distribuídas em pontos de sua superfície lenhosa, dotado de espinhos radiais de coloração amarela, vermelha ou marrom, medindo de 9 a 30 cm de comprimento (ABUD et al., 2013; LEAL et al., 2003; SALES et al., 2014).

Os espinhos assim como os demais órgãos, originam-se nas aréolas, e apresentam um número aproximadamente constante, variando quanto ao tamanho e proporção. Há também diferenças favorecidas pela idade do cladódio, quando jovens os espinhos são geralmente translúcidos e apresentam cores vivas como castanho, vermelho e amarelo, quando velhos apresentam-se opacos adquirindo coloração branca a acinzentada. Estes órgãos além de conferir proteção mecânica a estes indivíduos, também podem apresentar poros, ajudando na captação de água mesmo em pequena quantidade (CAVALCANTE et al., 2013).

Essa planta perde pouca água devido à forma do seu caule, que é grosso e elipsóide, desprovida de folhas, reduzindo a superfície de evapotranspiração do vegetal, e possui uma cutícula espessa que a reveste, tornando-a capaz de armazenar uma grande quantidade de água no seu interior. Suas raízes também são importantes para o aproveitamento de água, pois absorvem com facilidade todo o recurso hídrico à sua volta. Em função disso, mantém-se verde e bem adaptado ao clima em que vive durante as estiagens, diferentemente das outras plantas (FERREIRA, 2014).

Suas flores são solitárias, alvas, noturnas e grandes, com cerca de 22 cm de comprimento, apresentando floração em massa (ABUD et al., 2013; LEAL et al., 2003).



Figura 1. A esquerda Flor de mandacaru, a direita *Cereus jamacaru* com frutos. Fonte: Eleneide Pinto Gurgel, 2017.

Os frutos (Figura 2) são deiscentes, elípticos, de superfície glabra, carnosos do tipo baga, cor púrpura-avermelhada, grandes (medindo de 5-12 cm de comprimento e de 7-12 cm de diâmetro), contendo numerosas sementes negras espalhadas na polpa branca. Durante o verão chuvoso, destacam-se pela coloração vermelha viva que apresentam. Quando formados, os frutos do mandacaru precisam em média de 20 dias para completar a maturação, onde passam a apresentar fissuras que expõem sementes e polpa (GOMES et al., 2014). Servem de alimento para aves e animais silvestres da região, contribuindo para a sustentabilidade e conservação da biodiversidade (LEAL et al., 2003). Em Israel, essa espécie vegetal é cultivada e domesticada para produção de frutas maiores e com melhor sabor. Na Europa, o seu fruto é amplamente aceito pela população e é considerado um fruto exótico de grande valor comercial (BEVILAQUA et al., 2015).

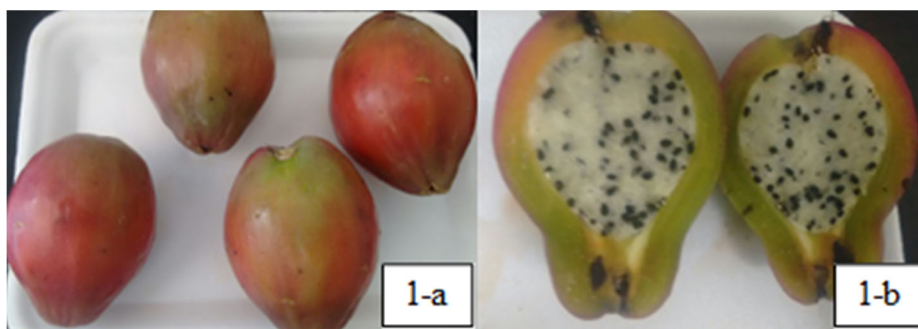


Figura 2. Frutos de Mandacaru (*Cereus jamacaru*), provenientes de diferentes populações do semiárido potiguar. 1-a: frutos intactos no início da pigmentação; 1-b: frutos cortados longitudinalmente. Fonte: Autores, (2017).

Em razão de colonizarem ambientes com altas temperaturas e com baixa umidade relativa do ar, estas plantas, assim como outras cactáceas, possuem a adaptação fisiológica chamada de metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que lhes proporciona maior eficiência no uso da água, permitindo que sobrevivam em ambientes com elevado déficit hídrico, sem que haja grande comprometimento de sua taxa fotossintética. Elas apresentam, ainda, alta relação volume/superfície, com células parenquimáticas especializadas em armazenar água e o desenvolvimento de grandes proporções de tecido parenquimático com células constituídas por mucilagem, adaptações estas que também proporcionam grande resistência a secas prolongadas (SALES et al., 2014).

Esta espécie é uma rica fonte de macromoléculas, incluindo celulose, hemicelulose, pectina e outros constituintes químicos. Essas macromoléculas podem ter várias aplicações, tais como matéria-prima para a produção de fibra dietética, pectina industrial, bioadesivos, biopolímero, etanol, biogás e nanocristais de celulose (OLIVEIRA et al., 2013).

Além das propriedades citadas, produzem os alcalóides amina e ésteres de cera que têm uma aplicação potencial como barreira impermeável e uma mucilagem viscosa que possui várias aplicações industriais. Além disso, heteropolissacarídeos que se comportam como polieletrólitos são extraídos da polpa de seus frutos, e são usados no tratamento de águas industriais porque são capazes de flocular partículas coloidais sem alterar o pH e, assim, atuam como coagulantes primários (BEVILAQUA et al., 2015).

A caracterização de espécies e cultivares pode ser realizada com base em diferenças morfológicas de plantas ou diferenças nas moléculas de proteína e DNA. A escolha do método utilizado dependerá das técnicas disponíveis e das características genéticas das espécies. Os descritores morfológicos têm sido utilizados na identificação

da pureza varietal e genética, bem como na caracterização de germoplasma. Apesar da existência de técnicas mais avançadas, esses descritores são mais acessíveis e constituem a base para a aplicação de ferramentas mais sofisticadas, como marcadores moleculares (ALVES et al., 2009).

Os caracteres morfológicos são atributos da forma ou aparência externa, que no geral fornecem a maior parte da informação usada na identificação prática de plantas, sendo vários destes usados na construção de hipóteses de relações filogenéticas (JUDD et al., 2009).

Variações morfológicas e anatômicas são observadas com frequência em indivíduos distintos de uma mesma população. Entre indivíduos de populações essas variações podem estar relacionadas a fatores bióticos e abióticos que afetam a fisiologia das plantas e, conseqüentemente, influenciam o seu estabelecimento, desenvolvimento e reprodução (LIMA et al., 2015).

Espécies com ampla distribuição geográfica e que ocorrem em diferentes ecossistemas ou fitofisionomias podem apresentar variações morfológicas e anatômicas entre as suas populações. A variabilidade morfológica observada em diferentes órgãos vegetativos e reprodutivos representa uma vantagem adicional das espécies, uma vez que a interação entre a heterogeneidade ambiental e a plasticidade fenotípica das plantas permite que essas espécies explorem novos nichos em busca de recursos e ampliem suas possibilidades de distribuição (LIMA et al., 2015).

A caracterização é uma atividade essencial, pois, permite a coleta de dados *ex situ* que podem ser utilizados para descrever, identificar e diferenciar genótipos de uma mesma espécie. Dentre as caracterizações existentes, a morfológica é feita com base em observações (qualitativas) e mensurações (quantitativas) de vários caracteres facilmente diferenciáveis a olho nu (BURLE; OLIVEIRA, 2010).

A estruturação do mandacaru pode variar dentro da própria espécie principalmente pelo número de costelas. A variação no número de costelas pode proporcionar sombreamento à própria planta, diminuindo a evapotranspiração, e/ou ser um depósito para o estoque de água para a planta. Dessa forma, o grau de hidratação/status hídrico da planta é fortemente influenciado pelo número de costelas (CAVALCANTE et al., 2013).

1.2 CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR

A diversidade genética representa o potencial de uma população para produzir diferentes genótipos. Ela é fundamental para a sobrevivência, adaptação e evolução das espécies, especialmente sob mudanças ambientais, bem como para a seleção no melhoramento genético. Assim, o conhecimento da variabilidade genética dentro e entre grupos de genótipos é de grande importância. A caracterização da diversidade genética e a forma como ela se distribui, proporciona o uso racional e sustentável dos recursos genéticos selvagens ou domesticados (PALADINI, 2016).

De acordo com as considerações de Peron (2011), a diversidade bioquímica, comportamental e morfológica, dentro de uma população, pode ser interpretada como resultado de modificações na composição genética das populações. Essas modificações podem decorrer da incidência de fatores que geram alelos e/ou genótipos novos, tais como mutação e recombinação gênica, visto que os alelos recém surgidos em uma população podem aumentar sua frequência ou mesmo serem eliminados por causas determinísticas ou por efeitos estocásticos. Assim, na medida em que as gerações se sucedem, a composição genética de uma população pode ser alterada quando comparada a outras intraespecíficas.

1.2.1 Marcadores moleculares

Os marcadores moleculares são geralmente utilizados em estudos de diversidade genética, uma vez que permitem a detecção de polimorfismo genético sem influências ambientais e em qualquer estágio de desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2013).

Na década de 1960, os marcadores utilizados em estudos de diversidade genética e de melhoramento, utilizavam genes associados a características morfológicas. Esses descritores, além de serem limitados, pois só as características de interesse agrônomico eram estudadas, necessitavam que essas características fossem contrastantes (FERREIRA; GRATTAPAGLIA, 1995).

Pouco tempo depois, dada as limitações do uso de marcadores enzimáticos, surgiram os primeiros marcadores isoenzimáticos. Esses marcadores são baseados nas diferentes formas moleculares que uma enzima pode apresentar, como resultado da expressão de mais de um gene para a mesma proteína. No entanto, esta técnica ainda não permitia uma cobertura ampla dos genomas estudados (BINNECK, et al., 2002).

Foi em meados da década de 80, com o advento da reação de polimerase em cadeia (PCR), que a biologia molecular, passou a ser aplicada amplamente em diagnósticos e no

melhoramento genético. Devido à facilidade, rapidez e versatilidade tornou-se uma ferramenta poderosa para estudos envolvendo grande número de indivíduos, acelerando ou substituindo métodos tradicionais de clonagem, sequenciamento e análise de polimorfismo (OLIVEIRA et al., 2013).

Uma das derivações desta técnica deu origem ao polimorfismo de DNA amplificado ao acaso (RAPD), técnica onde é possível à amplificação simultânea de vários locos do genoma, utilizando uma sequência arbitrária. A técnica de PCR até então, possuía como limitação a necessidade de conhecimento prévio das sequências de nucleotídeos que falqueiam as sequências de DNA de interesse, o que só era possível utilizando a clonagem e/ou o sequenciamento, técnicas extremamente caras (FERREIRA; GRATTAPAGLIA, 1995).

1.2.2 Marcador do DNA polimórfico amplificado ao acaso (RAPD)

Marcadores moleculares de DNA (ácido desoxirribonucleico) são geralmente utilizados em estudos de diversidade genética, pois permitem a detecção de polimorfismos genéticos sem influências ambientais e em qualquer estágio do desenvolvimento das plantas ou a partir de culturas de células ou tecidos. Assim, esses marcadores podem servir como uma ferramenta para ajudar a identificar espécies que são difíceis de se distinguir umas das outras morfologicamente (OLIVEIRA et al., 2013).

Os avanços dos estudos moleculares trouxeram um aumento significativo dos conhecimentos na área de Genética de Populações, com diversas aplicações em estudos evolutivos, permitindo avaliar a diversidade genética diretamente ao nível de DNA, livre de influências do ambiente ou do estágio de desenvolvimento do organismo analisado (LACERDA et al., 2002).

A partir da PCR, surgiu um método frequentemente utilizado para estudos em níveis populacionais, é o método do DNA polimórfico amplificado ao acaso (RAPD). Nesta técnica, pequenos iniciadores de PCR (10 nucleotídeos) são desenhados com sequências arbitrárias. Essas sequências aleatórias, geralmente, são complementares a uma ou mais regiões em algum local do genoma da planta, e os iniciadores irão se ligar a elas e amplificar um fragmento de DNA. Ao realizar muitos PCRs com iniciadores aleatórios, pode-se encontrar fragmentos que distingam indivíduos de plantas ou populações, sendo possível uma rápida avaliação de quantos genótipos estão presentes em uma população e uma estimativa bruta de quão diferentes são esses genótipos (JUDD et al., 2009).

Os polimorfismos de RAPD parecem ser resultado de vários processos, incluindo substituições de nucleotídeos que criam ou apagam sítios de homologia com o primer, formação de estruturas secundárias entre sítios homólogos e inserção, deleção ou inversão tanto dos sítios de ligação com o primer como sequências entre esses sítios. Também, o efeito de substituições de nucleotídeos parece depender da posição de reconhecimento com o primer, sendo mais crítico o pareamento perfeito especialmente na região 3' do primer, a partir da qual a polimerização inicia.

Somado ao polimorfismo em tamanho dos fragmentos amplificados existe o polimorfismo referente à intensidade. No entanto, esse parâmetro normalmente não é utilizado devido à sua grande instabilidade. A variação na intensidade das bandas tem sido atribuída a diferenças no número de cópias amplificadas do fragmento, causadas pela competição entre produtos no processo de PCR, heterozigiosidade e combinação parcial do primer com o sítio. Esses polimorfismos são detectados através da presença ou ausência de bandas em gel de eletroforese e podem ser convertidos em dados de homologia entre genótipos (BINNECK, et al., 2002).

O polimorfismo detectado por estes marcadores tem natureza binária, ou seja, um determinado fragmento ou banda está presente ou ausente no gel. Bandas de tamanhos diferentes são considerados locos diferentes. Marcadores RAPD são dominantes, o que significa que indivíduos homozigotos dominantes para um determinado loco e indivíduos heterozigotos não podem ser diferenciados a partir do perfil de amplificação uma vez que ambos serão representados pela presença de uma banda no gel (LACERDA et al., 2002). Além disso, os marcadores moleculares RAPD, estão entre os mais usados porque é uma técnica simples e de custo relativamente baixo (OLIVEIRA et al., 2013).

1.2.3 Estudo de diversidade genética em *Cereus jamacaru*

As plantas do gênero *Cereus* apresentam morfologia semelhante, mas algumas características as classificam como espécies diferentes. Os estudos morfoanatômicos das espécies de Cactaceae não são conclusivos sobre como as populações estão estruturadas, e não possibilitam uma classificação segura das espécies. A expectativa é de que o uso de marcadores moleculares, que detectam polimorfismos no DNA, possa contribuir com informações complementares, necessárias para classificar as plantas de *Cereus*, e diferenciar quanto ao nível taxonômico de espécie (DOMINGUES et al., 2017).

Faria-Tavares et al., (2013), estudaram a diversidade genética de 17 acessos de mandacaru provenientes de diferentes regiões do Brasil, utilizando seis *primers* AFLP (*amplified fragment length polymorphisms*) e obtiveram polimorfismo médio de 81,00%. Domingues et al., (2017), utilizando marcadores ISSR (*Inter Simple Sequence Repeat*), para as seis plantas de *Cereus* sp. utilizando 17 *primers* relataram percentual médio de polimorfismo de 60,66%

A caracterização molecular de *Cereus jamacaru*, utilizando marcadores RAPD foi realizada pela primeira vez, por Oliveira et al., (2013), onde foram utilizados iniciadores RAPD e ISSR (sequências inter simples repetitivas) para a caracterização de genótipos de mandacaru provenientes de três estados nordestinos, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Os autores utilizaram 39 marcadores RAPD, dos quais 26 foram polimórficos (66,67%) e 33 marcadores ISSR, onde 15 iniciadores apresentaram polimorfismo (45,45%).

O isolamento do DNA do mandacaru é um dos principais entraves para a caracterização molecular da espécie, pois esse cacto contém grandes quantidades de polissacarídeos e metabólitos secundários que formam complexos insolúveis com ácidos nucleicos durante a extração, dificultando a ação da enzima *taq* DNA polimerase, o que dificulta amplificação do seu ácido desoxirribonucleico (FARIA-TAVARES, et al., 2013).

1.3 QUALIDADE DO FRUTO

1.3.1 Características físicas dos frutos

Por exercer influência na escolha do consumidor, a aparência externa de frutos deve ser avaliada, pois os predicados físicos são muito importantes para seleção dos produtos destinados ao mercado *in natura* e industrial (SANTOS et al., 2016).

Dentre esses atributos, a coloração, é um parâmetro usado para indicar a maturação dos frutos, que influencia na qualidade visual e nutricional. Também, é utilizada no controle do processamento dos alimentos, sendo uma característica fundamental, seja em produtos naturais ou processados, uma das variáveis de extrema importância para a aceitabilidade de um alimento, constituindo um dos principais critérios da sua aparência (SANTOS et al., 2016).

Um outro atributo de grande importância para a inserção de frutos no mercado consumidor é a massa (SANTOS et al., 2014). Dias et al. (2011) afirmam que para

comercialização *in natura* dos frutos, a massa média é uma característica importante, por ser os maiores frutos os mais atrativos para os consumidores. A biomassa também é um atributo importante para a indústria, pois, em linhas gerais, frutos com maior biomassa também proporcionam maior rendimento.

O rendimento é um fator-chave a ser considerado para a escolha da matéria-prima ideal pela indústria de alimentos, frutos destinados ao consumo industrial devem apresentar elevado rendimento (MORZELLE et al., 2015). O tamanho do fruto também é considerado durante a escolha dos frutos, e ainda a relação entre o comprimento longitudinal e o comprimento transversal é usada para avaliar o formato dos frutos, em decorrência do comprimento e diâmetro serem importantes para a otimização de processos industriais (BRAGA et al., 2017).

Outra variável física que deve ser destacada é a espessura da casca, que dá um indicativo de resistência a danos mecânicos. Por exemplo, frutos de espécies silvestres que apresentaram casca mais fina, representam menos descarte para o consumidor, contudo menor resistência ao transporte, ao manuseio e à perda de qualidade durante o armazenamento e a comercialização, o que é conferido pela casca mais grossa (BRAGA et al., 2017).

1.3.2 Caracterização química dos frutos

A composição química dos frutos é influenciada não só pelo genótipo, mas, pela região onde cresce. Dessa forma, pode haver mudanças no conteúdo de sólidos solúveis, na acidez, no pH, nos teores de vitamina C e nos compostos bioativos produzidos pela espécie (MDITSHWA et al., 2013). Na maioria dos frutos, a acidez representa um dos principais componentes do *flavor* e, com poucas exceções, tende a diminuir com a maturação e amadurecimento, em decorrência do processo respiratório ou de sua conversão em açúcares (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O pH baixo e a acidez elevada são características desejáveis à industrialização. O pH baixo dispensa a etapa de acidificação durante o processamento. Além disso, o elevado valor de acidez contribui para o sabor acentuado da polpa. Esta característica promove um fator de diluição elevado na formulação de sucos e, conseqüentemente, maior rendimento industrial (SARMENTO et al., 2015).

O teor de sólidos solúveis é uma medida indireta de açúcares existentes no fruto, pois estes são seus principais componentes. Usualmente, os teores de sólidos solúveis

umentam no transcorrer do processo de maturação da fruta, ocasionada pela biossíntese de açúcares ou pela degradação de polissacarídeos. Para a agroindústria, o elevado teor de sólidos solúveis é uma característica desejável, pois quanto maior o seu valor, menor a quantidade de frutos necessária para atingir a concentração de um produto. Além de permitir ao consumidor a percepção de sabor agradável atingido pelo fruto, durante o amadurecimento (NASCIMENTO et al., 2011).

O ácido L-ascórbico, também conhecido como vitamina C, é uma das vitaminas mais usadas pela população mundial. Em plantas, todas as células são capazes de produzir a vitamina C (ALVIM, 2014). O ácido ascórbico é a vitamina mais amplamente estudada na área de tecnologia pós-colheita, podendo ser influenciado por uma série de fatores como espécie, variedade, estágio de maturação (geralmente os frutos em estágio inicial de maturação apresentam maiores quantidades), época do ano em que se realiza a colheita, métodos culturais, disponibilidade de nutrientes no solo, clima do local de cultivo, manuseio pós-colheita e estocagem. É preciso ressaltar que os altos teores de sólidos solúveis também contribuem para minimizar as perdas de vitamina C, uma vez que diminuem a velocidade de migração do oxigênio e, conseqüentemente, os processos oxidativos (RITZINGER et al., 2003).

Com relação à coloração, as betalaínas nas frutas dos cactos abrangem um amplo espectro de pigmentos de cor do amarelo-alaranjado ao vermelho-violeta. Esses pigmentos naturais presentes em algumas classes de plantas, frutas e flores, proporcionam cores atrativas e estáveis diante das condições de processamento. Porém, devido à sua ocorrência restrita receberam menor atenção científica. Em razão do seu poder tintorial, coloração atrativa, estabilidade e atividade antioxidante tem despertado a atenção da indústria, dos pesquisadores e consumidores (SANTOS et al., 2016).

Os compostos fenólicos vêm sendo estudados por apresentarem propriedades biológicas importantes como: proteção dos órgãos e tecidos contra o estresse oxidativo e a carcinogênese. Dentre os compostos fenólicos com propriedade antioxidante, destacam-se os flavonoides, que quimicamente englobam as antocianinas (responsáveis pelos tons compreendidos desde a coloração vermelha a azul violáceo) e os flavonóis (pigmentos de cores branca ou amarela clara), identificados em frutas, hortaliças, cereais e leguminosas (FERNANDES et al., 2017).

O consumo de frutos pelos seres humanos é vantajoso para a saúde pois, os antioxidantes agem capturando os radicais livres que estão no nosso corpo. Correspondem a um conjunto heterogêneo de substâncias formado por vitaminas, minerais, pigmentos

naturais e enzimas, que bloqueiam o efeito danoso dos radicais livres, formados nas reações metabólicas ou por fatores exógenos, ao organismo (PEREIRA; CARDOSO, 2012). Desta forma, contribuem para a manutenção da integridade de nossas moléculas, o que se reflete em um menor índice de doenças coronárias, cânceres e a um menor envelhecimento celular.

Durante os processos celulares metabólicos normais, e como consequência de diversos estresses, o O_2 é reduzido por univalência, através de reações sequenciais que podem ocasionar a formação das espécies ativas de oxigênio (EAOs). A geração de EAOs faz parte do metabolismo aeróbio normal, mas em diversas situações, a produção dessas espécies é aumentada, seja por fonte endógena ou exógena. Dentre as fontes endógenas pode-se citar: metabolismo aeróbio normal e a cadeia respiratória. Já as fontes exógenas envolvem vários fatores ambientais de estresse como: seca, metais pesados, elevadas concentrações de sais, extremos de temperatura, radiação ultravioleta, poluição do ar, herbicidas, estresse físico e mecânico e, também, estresses bióticos, como o ataque de patógenos.

O estresse oxidativo é um processo essencialmente regulatório. O equilíbrio entre as capacidades oxidativa e antioxidativa determina o destino da célula, dessa forma, os antioxidantes produzidos pelos frutos agem estabilizando as moléculas e estruturas, sendo a capacidade antioxidante proporcional aos estresses sofridos. (BARBOSA NETO, 2018). A determinação de compostos antioxidantes em frutas e hortaliças é realizada por vários métodos, dentre eles os métodos DPPH e o ABTS, que são bastante utilizados em virtude da estabilidade, facilidade de manipulação e simplicidade de procedimento. O DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazil) é um radical orgânico que, na presença de um antioxidante, na medida em que é capturado produz um decréscimo da absorbância a 515 nm (BRAND-WILLIAMS et al., 1995).

A molécula de DPPH é caracterizada como um radical livre estável em virtude da deslocalização do elétron desemparelhado por toda a molécula. Esta deslocalização confere a esta molécula uma coloração violeta, caracterizada por uma banda de absorção em etanol em cerca de 520 nm. Este ensaio mede a capacidade antioxidante de uma determinada substância em sequestrar o radical DPPH, reduzindo-o à hidrazina. Quando uma determinada substância que age como doador de átomos de hidrogênio é adicionada a uma solução de DPPH, a hidrazina é obtida com mudança simultânea na coloração de violeta a amarelo pálido (SOUZA, 2013).

O ABTS [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt], é um método baseado na habilidade dos antioxidantes de captura a longo prazo do cátion⁺ radical ABTS. Esta captura produz um decréscimo na absorvância a 734 nm, que é lida a partir da mistura do radical com o antioxidante em diferentes tempos, sendo representadas graficamente (PÉREZ-JIMÉNEZ; SAURACALIXTO, 2006). Este método é aplicável ao estudo de antioxidantes hidrossolúveis e lipossolúveis, compostos puros e extratos vegetais (SOUZA, 2013).

As espécies de frutíferas nativas podem ser fonte de muitos compostos químicos, incluindo alguns com propriedades bioativas que as caracterizam como alimento funcional. Os alimentos designados funcionais apresentam efeitos fisiológicos benéficos à saúde do homem, tanto para prevenir quanto para tratar doenças (FERRARI; TORRES, 2002). Esses alimentos podem variar de nutrientes isolados, produtos de biotecnologia, suplementos dietéticos, alimentos geneticamente construídos até alimentos processados e derivados de plantas (BARBOSA, 2012).

Os alimentos funcionais foram identificados a partir da baixa incidência de doenças de alguns povos. Isso chamou a atenção para a dieta desses povos. Os esquimós, com uma alimentação baseada em peixes e produtos do mar (ricos em ômega 3 e 6), por exemplo, tem baixo índice de problemas cardíacos, assim como os franceses consumidores de vinho tinto. Os orientais, com o consumo de soja (fitoestrogênicos), apresentam menor incidência de câncer de mama. Dados comprovam que nesses países, o consumo de frutas e verduras também resulta em uma redução do risco de doenças coronarianas e de câncer (BARBOSA, 2012).

Dentre a alimentação de origem vegetal dessas comunidades, destacam-se as Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs), que são representadas por espécies comestíveis nativas, exóticas, espontâneas, silvestres ou domesticadas que não fazem parte da cadeia produtiva e da dietética habitual atual de uma parcela da população. Engloba, também, partes não usuais de plantas conhecidas com potencial alimentício. A falta de informações sobre essas plantas contribui para o não uso e até mesmo para o desaparecimento das mesmas (ROCHA et al., 2018).

Dentre as funções destes alimentos, podemos destacar sua capacidade antioxidante, que consiste em um conjunto heterogêneo de substâncias formado por vitaminas, minerais, pigmentos naturais e outros compostos vegetais e, ainda, enzimas (destacando-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a glutationaperoxidase

(GPX), que bloqueiam o efeito danoso dos radicais livres, formados nas reações metabólicas ou por fatores exógenos ao organismo (PEREIRA; CARDOSO, 2012).

Os principais antioxidantes presentes nos vegetais são as vitaminas C e E, os carotenóides e os compostos fenólicos, especialmente os flavonoides. Esses antioxidantes absorvem radicais livres e inibem a cadeia de iniciação ou interrompem a cadeia de propagação das reações oxidativas promovidas pelos radicais. Além da ingestão de frutas e vegetais, que são recomendados como fontes de compostos antioxidantes, acredita-se que a suplementação da dieta com ervas, contendo altas concentrações de compostos capazes de desativar radicais livres, tenha também efeitos benéficos (SILVA et al., 2010).

A pitaia (*Hylocereus undatus*), assim como o mandacaru pertencem a família das cactáceas. Essa planta ficou conhecida por ter sido usada por milhares de anos pelos povos indígenas das Américas, hoje em dia, é cultivada e comercializada em mais de 20 países como uma nova frutífera. Considerada um fruto tropical, pouco ácido e levemente adocicado (DUARTE et al., 2017). Características semelhantes foram observadas em frutos de mandacaru, o que faz dessa espécie uma cultura promissora para a fruticultura regional.

Os frutos de *C. jamacaru* apresentam elevada umidade com cerca de 85,82 g/100g (NASCIMENTO et al., 2011), valores de vitamina C de 100 mg/100g (SILVA; ALVES, 2009), polifenóis extraíveis totais de 52,86 mg/100g, têm como pigmentos majoritários as betacianinas (6,08 mg/100g) e as betaxantinas (4,57 mg/100g) e são considerados boas fontes de nitrogênio (1006,25 mg/100g), potássio (135,95 mg/100g), magnésio (237,7 mg/100g), cálcio (584,69 mg/100g) e ferro (5,22 mg/100g) (LIMA, 2016).

Esses atributos incluem o mandacaru no grupo das PANC's, fazendo parte da dieta de famílias carentes, principalmente no período de estiagem, que consomem seus cladódios, frutos e flores (PASSOS, 2019; ROCHA et al., 2018). Seus frutos além de serem consumidos *in natura*, também podem ser utilizados para a produção de geleias, iogurtes, sorvetes (FIDELIS et al., 2015) e compotas (SILVA, 2017).

1.4 INFLUÊNCIA DE FATORES ABIÓTICOS E BIÓTICOS NA QUALIDADE DOS FRUTOS

Vegetais podem ser potencialmente expostos a inúmeros estresses bióticos e abióticos durante sua produção, manuseio, armazenamento e distribuição. Em função disso é preciso compreender como essas tensões afetam frutas e legumes, para traçar um

manejo adequado visando minimizar seus efeitos. A qualidade dos frutos é obtida durante todo o processo produtivo, desde a identificação botânica, escolha do material vegetal, época e local de plantio, tratos culturais, determinação da época e cuidados na colheita, de modo a garantir o máximo da qualidade para o produto. Não sendo possível melhorar esta qualidade através do processamento pós-colheita, mas sim, minimizar suas perdas (MARCHESE; FIGUEIRA, 2005).

Os estresses bióticos são decorrentes da interação planta-planta, planta-herbívoro ou planta-patógeno. A interação com patógenos pode desencadear a indução de resistência em plantas com produção de elicitores, os quais podem ser conceituados como um mecanismo de defesa induzido por agentes bióticos ou abióticos que confere proteção à planta a um amplo espectro de microorganismos. Os elicitores podem promover um aumento dos teores de proteínas, açúcares totais e redutores, e fenóis totais, decorrentes do aumento da atividade metabólica, induzida nos frutos (DANNER et al., 2008).

No entanto, um dos maiores desafios para a produção global de frutas e vegetais é as condições climáticas regionais, que ano após ano se tornam mais imprevisíveis, e dessa forma é necessário que haja uma compensação dos efeitos abióticos do campo (seca, temperaturas extremas, luminosidade e salinidade) para que o potencial pós-colheita de frutas e legumes sejam mantidos (BARBOSA; SANTANA et al., 2013).

Além disso, alguns dos fatores discutidos apresentam correlações entre si e não atuam isoladamente, podendo influir em conjunto no metabolismo secundário, como por exemplo, desenvolvimento e sazonalidade; índice pluviométrico e sazonalidade; temperatura e altitude, entre outros (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). A influência da radiação solar na composição dos metabólitos secundários merece destaque. Com o aumento desta as plantas tendem a produzir mais metabólitos secundários para se prevenir de processos oxidativos que ocorrem durante a fotossíntese (CAROLLO, 2008).

A matéria orgânica presente no ambiente também exerce influência na produção de metabólitos das plantas, por exemplo, ambientes pobres em N faz com que haja uma maior produção de compostos fenólicos, pois a produção de proteínas é reduzida, evitando a competição pela fenilalanina, que é um precursor comum das proteínas e dos compostos fenólicos na via do ácido chiquímico (LEMOS, 2011), também há o favorecimento da produção de ácido ascórbico (POIROUX-GONORD et al., 2010).

A condutividade elétrica do substrato influencia a produção de compostos do metabolismo secundário, principalmente a produção de compostos fenólicos. Alguns autores relatam que estresse salino moderado pode favorecer a produção de compostos

fenólicos totais e de antocianinas, e incrementar a capacidade antioxidante dos frutos (AKHATOU; FERNANDEZ-RECAMALES, 2014).

As baixas temperaturas têm influências significantes nos níveis de metabólitos secundários e uma correlação positiva tem sido relatada entre a intensidade e a duração do frio imposto ao milho (*Zea mays*) e a abundância de antocianinas em RNA. A cevada apresentou uma maior concentração de fenóis totais em temperatura média mais baixa (BEZERRA et al., 2013). Altas temperaturas durante o cultivo de morango são favoráveis para o acúmulo de ácido ascórbico, compostos fenólicos, carotenoides e glucosinolatos (POIROUX-GONORD et al., 2010). Em morangos, a capacidade antioxidante e a produção de compostos fenólicos foram incrementadas com o aumento da temperatura (AKHATOU; FERNANDEZ-RECAMALES, 2014).

A altitude também exerce efeitos sobre o desenvolvimento e a produção de metabólitos secundários em plantas, apesar de existirem relativamente poucos estudos neste sentido, há correlação positiva geralmente existente entre o conteúdo total de flavonoides. Esta correlação pode ser explicada pela maior susceptibilidade à radiação UV em altitudes maiores, uma vez que, os flavonoides são reconhecidos por propiciarem proteção à radiação e seus efeitos (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). Em romãs, altitudes mais baixas proporcionaram maior produção de compostos fenólicos totais, quando comparável aos frutos colhidos em locais de maior elevação (MDITSHWA et al., 2013).

Um dos fatores mais importantes, que afetam a produção de metabólitos secundários, é a água. Quantidades limitadas dela causa efeito negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas, no entanto podem ser positivas para o acúmulo de substâncias bioativas. Estudos com uva mostram que a deficiência hídrica melhora a qualidade do fruto e incrementa a concentração de compostos fenólicos (POIROUX-GONORD et al., 2010).

Marchese e Figueira (2005) relatam que, sob condições de estresse, fotossíntese, crescimento e produção de metabólitos especializados, não respondem igualmente a gradientes de água e nutrientes. Sendo assim, o teor de princípios ativos pode aumentar ou diminuir, de acordo com a intensidade desse fator, cuja ação é simultânea e inter-relacionada.

A definição do local e da época de plantio também são fundamentais para se obter o máximo de rendimento de fitomassa e de substâncias bioativas. Variação da intensidade luminosa (irradiância) e temperatura durante o ano são função da sazonalidade e latitude dos locais de cultivo. Em geral, para plantas de clima tropical que são termoperiódicas e

heliófitas (plantas de sol), as estações mais quentes e de maior radiação coincidem com a fenofase de maior produção de biomassa. A mesma lógica vale para a produção de compostos bioativos em que geralmente a maior produção está associada a maior radiação e maior taxa fotossintética das plantas (MARCHESE; FIGUEIRA, 2005).

O cultivo em estações com maior luminosidade e com temperaturas mais elevadas favoreceu a produção de compostos fenólicos em morangos (ANTTONEN et al., 2006). Frutos de morango cultivados em épocas com baixa precipitação, menor umidade relativa e maiores taxas de radiação solar apresentaram maior qualidade (AKHATOU; FERNANDEZ-RECAMALES, 2014).

Gull et al. (2012) concluíram que as condições geográficas e o estágio de maturação dos frutos tiveram influência no conteúdo de vitamina C e na atividade antioxidante de frutos da goiabeira. A atividade antioxidante de amostras da região onde a temperatura é moderada, foi relativamente maior. Além da temperatura, o tipo de solo, a disponibilidade de nutrientes e outros fatores ambientais teve efeito significativo no potencial antioxidante da goiabeira.

Lavola et al. (2017) verificaram a influência do habitat na acumulação de fenólicos em populações de mirtilos selvagens, apontando os efeitos microclimáticos, como a maior insolação e o maior conteúdo de nutrientes do solo como responsáveis por afetar a fitoquímica das plantas e as concentrações de flavonóides e proantocianidinas.

Também foram observadas diferenças significativas nas características físicas e físico-químicas de frutos de mandacarus em virtude da localização das populações de plantas, mesmo tendo-se estudado frutos cultivados em cidades com apenas 25 Km de distância (Queimadas-PB e Lagoa Seca-PB) (ALMEIDA et al., 2009).

Estudos que visem a caracterização morfológica de espécies vegetais promissoras são fundamentais para a sua inserção comercial, além disso, compreender a diversidade genética existente e como esses genótipos se comportam frente as condições ambientais são imprescindíveis, para que sejam traçadas estratégias de conservação, de preservação e de melhoramento genético. Esses trabalhos também contribuem para que haja otimização das características desejadas, e contribuem para uma exploração comercial segura, visto que as espécies nativas são adaptadas as condições regionais, o que reduz a necessidade de insumos, como agrotóxicos, nocivos à saúde humana.

REFERÊNCIAS

ABUD, H. F.; PEREIRA, M. S.; GONÇALVES, N. R.; PEREIRA, D. S.; BEZERRA, A. M. E. Germination and morphology of fruits, seeds and plants of *Cereus jamacaru* DC. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 3, p. 310-315, 2013.

AKHATOU, I.; FERNÁNDEZ-RECAMALES, A. Nutritional and Nutraceutical Quality of Strawberries in Relation to Harvest Time and Crop Conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 5749-5760, 2014.

ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; FREIRE, R. M. M.; VALENÇA, A. R. Caracterização física e físico-química de frutos de mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 15-20, 2009.

ALVES, M. F.; PEREIRA, F. R. A.; ANDRADE, A. M.; MENEZES, I. P. P.; HOFFMANN, L. V.; BARROSO, P. A. V. Marcadores moleculares polimórficos entre algodoeiros mocós e herbáceos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 406-411, 2009.

ALVIM, M. C. T. **Condições fisiológicas que favorecem a síntese de ácido L-ascórbico (vitamina C) por culturas de *Kluyveromyces lactis* metabolicamente engenheirada**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014, 65 f.

ANTTONEN, M. J.; HOPPULA, K. I.; NESTBY, R.; VERHEUL, M. J.; KARJALAINEN, R. O. Influence of fertilization, mulch color, early forcing, fruit order, planting date, shading, growing environment, and genotype on the contents of selected phenolics in strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 7, p. 2614-2620, 2006.

BARBOSA NETO, M. A. **Maturação de frutos e salinidade na qualidade fisiológica de sementes de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.)**. Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2018, 73 f.

BARBOSA, M. **A importância da alimentação saudável ao longo da vida refletindo na saúde do idoso**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS, 2012, 41 f.

BARBOSA, M. M. T. L.; SANTANA, C. A. M. Desafios para o futuro da produção sustentável de alimentos. **Parcerias Estratégicas**, v. 17, n. 35, p. 55-74, 2013.

BATISTA, A. D.; FONSECA, A. A. O.; COSTA, M. A. P. C.; BITTENCOURT, N. S. Caracterização física, físico-química e química de frutos de pitangueiras oriundas de Cinco Municípios Baianos. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v. 26, n. 3, p. 393- 402, 2014.

BEVILAQUA, M. R. R.; SANTANA FILHO, A. P.; MANGOLIN, C. A.; OLIVEIRA, A. J. B; MACHADO, M. F. P. S. Genetic and chemical diversity in seeds of cactus mandacaru (*Cereus* sp.) from two edaphoclimatic regions contrasting. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 765-776, 2015.

BEZERRA, A. S.; NÖRNBERG, J. L.; LIMA, F. O.; ROSA, M. B. D.; CARVALHO, L. M. D. Parâmetros climáticos e variação de compostos fenólicos em cevada. **Ciência Rural**, v. 43, n. 9, p. 1546-1552, 2013.

BINNECK, E.; NEDEL, J. L.; DELLAGOSTIN, O. A. Análise de RAPD na identificação de cultivares: uma metodologia útil? **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 183-196, 2002.

BRAGA, C. S.; RODRIGUES, D. V.; BARBOZA BISPO, R. B.; GÖTTER, V.; MARTINS, K. C.; SOUZA, S. A. M. Caracterização e diversidade genética de espécies do gênero *Passiflora* com base em características físicas e químicas dos frutos. **Revista Ciência Agroambiental**, v. 15, n. 2, p. 181-186, 2017.

BRAND-WILLIAMS. W.; CUVELIER. M. E.; BERSET. C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28. p. 25-30. 1995.

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

BURLE, M. L.; OLIVEIRA, M. Manual de Curadores de Germoplasma-Vegetal: Caracterização Morfológica. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia- Documentos (INFOTECA-E)**, 2010, 16 p.

CAROLLO, C. A. **Análise fitoquímica e avaliação dos efeitos dos tipos de adubação, da radiação solar e do estresse hídrico, no acúmulo de metabólitos secundários em espécies do gênero *Mikania***. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008, 54 f.

CARTAXO, S. L.; SOUZA, M. M. A., ALBUQUERQUE, U. P. Medicinal plants with bioprospecting potential used in semi-arid northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 131, p. 326-342, 2010.

CAVALCANTE. A.; TELES. M.; MACHADO. M. **Cactos do semiárido do Brasil**. Campina Grande: INSA, 2013, 53 p.

CHITARRA. M. I. F.; CHITARRA. A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005, 785 p.

DANNER, M. A.; SASSO, S. A. Z.; MEDEIROS, J. G. S.; MARCHESI, J. A.; MAZARO, S. M. Indução de resistência à podridão-parda em pêssegos pelo uso de eliciadores em pós-colheita. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 7, p. 793-799, 2008.

DIAS, A. B.; CARVALHO, M. A. P.; DANTAS, A. C. V. L.; FONSECA, V. J. A. Variabilidade e caracterização de frutos de pitangueiras em municípios baianos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1169-1177, 2011.

DOMINGUES, S. D.; NEVES, A. F.; MANGOLIN, C. A.; MACHADO, M. F. P. S. Seleção de *primers* para análise de *Inter Simple Sequence Repeats* (ISSR) em *Cereus* sp. (Cactaceae). **Revista Biotecnologia & Ciência**, v. 6, n. 2, p. 46-54, 2017.

DUARTE, M. H.; QUEIROZ, E. R.; ROCHA, D. A.; COSTA, A. C.; ABREU, C. M. P. Qualidade de pitaia (*Hylocereus undatus*) submetida à adubação orgânica e armazenada sob refrigeração. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2015115, 2017.

FALEIRO, F. G. Princípio científico e análises genéticas utilizando marcadores moleculares. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. 1. ed. Planaltina: DF, 2011, cap. 2, p. 31-49.

FARIA-TAVARES, J. S.; MARTIN, P. G.; MANGOLIN, C. A.; OLIVEIRA-COLLET, S. A.; MACHADO, M. F. P. S. Genetic relationships among accessions of mandacaru (*Cereus* spp.: Cactaceae) using amplified fragment length polymorphisms (AFLP). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 48, p. 12-19, 2013.

FERNANDES, L. M. S.; VIEITES, R. L.; LIMA, G. P. P.; BRAGA, C. L.; AMARAL, J. L. Caracterização do fruto de pitaia orgânica. **Biodiversidade**, v. 16, n. 1, 2017.

FERNANDES, V. N. A. **Estrutura genética de amostras de mandacaru usando locos heterólogos de microssatélites**. Universidade Estadual de Maringá, 2013, 87 f.

FERRARI, C. K. B.; TORRES, E. A. F. S. Alimentos funcionais: quando a boa nutrição melhora a nossa saúde. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, v. 20, n. 2, p. 31-34, 2002.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores RAPD em análise genética**. Brasília: Embrapa-CENARGEN, 1995, 220 p.

FERREIRA, C. **Dinâmica do microbioma da rizosfera de mandacaru na Caatinga**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014, 88 f.

FIDELIS, V. R. L. PEREIRA, E. M.; SILVA, W. P. S.; GOMES, J. P.; SILVA, L. A. Produção de sorvetes e iogurtes a partir dos frutos figo da índia e mandacaru. **Revista Verde**, v. 10, n. 4, p. 17-21, 2015.

GERUM, A. F. A. A.; SANTOS, G. S.; SANTANA, M. A.; SOUZA, J. S.; CARDOSO, C. E. L. **Fruticultura Tropical: potenciais riscos e seus impactos**. Cruz das Almas: BA, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2019, 28 p.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.

GOMES, V. G. N.; QUIRINO, Z. G. M.; ARAUJO, H. F. P. Frugivory and seed dispersal by birds in *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) in the Caatinga of Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 1, p. 32-40, 2014.

GULL, J.; SULTANA, B.; ANWAR, F.; NASEER, R.; ASHRAF, M. Variation in antioxidant attributes at three ripening stages of guava (*Psidium guajava* L.) fruit from different geographical regions of Pakistan. **Molecules**, v. 17, n. 3, p. 3165-3180, 2012.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática Vegetal: Um Enfoque Filogenético**. Artmed Editora, 2009, 614 p.

LACERDA, D. R.; ACEDO, M. D.; LEMOS FILHO, J. D.; LOVATO, M. B. A técnica de RAPD: uma ferramenta molecular em estudos de conservação de plantas. **Lundiana**, v. 3, n. 2, p. 87-92, 2002.

LAVOLA, A.; SALONEN, A.; VIRJAMO, V.; JULKUNEN-TIITTO, R. Phytochemical variation in the plant-part specific phenols of wild crowberry (*Empetrum hermaphroditum* Hagerup) populations. **Phytochemistry Letters**, v. 21, p. 11-20, 2017.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003.

LEAL, M. S.; MARTINS, L. V.; SOUZA, I.; MEIRELES DE DEUS, M. S.; PERON, A. P. *Cereus jamacaru* de Candolle (Cactaceae), o mandacaru do nordeste brasileiro. Publ. UEPG Ci. Biol. Saúde, Ponta Grossa, v. 20, n. 2, p. 135-142, 2014.

LEMOS, A. L. **Alocação de recursos para crescimento versus defesa em espécies de Asteraceae**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011, 72 f.

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. Diversidade genética intra e interespecífica de pitaya com base nas características físico-químicas de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1066-1072, 2013.

LIMA, A. T.; SANTOS, C. S.; MEIADO, M. V. Variação interpopulacional de caracteres morfoanatômicos em cladódios de *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY subsp. *Salvadorensis* (WERDERM.) (Cactaceae) coletados em três ecossistemas do Estado de Sergipe. **Gaia Scientia, Edição Especial Cactaceae**, v. 9, n. 2, p. 202-206, 2015.

LIMA, R. K. B. **Caracterização e potencial antioxidante do fruto da palma (*Tacinga inamoena*) e do mandacaru (*Cereus jamacaru*)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016, 62 f.

MARCHESE, J. A.; FIGUEIRA, G. M. O uso de tecnologias pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 7, n. 3, p. 86-96, 2005.

MDITSHWA, A.; FAWOLE, O. A.; AL-SAID, F.; AL-YAHYAI, R.; OPARA, U. L. Phytochemical content, antioxidant capacity and physicochemical properties of pomegranate grown in different microclimates in South Africa. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 30, n. 2, 2013.

MORZELLE, M. C.; BACHIEGA, P.; SOUZA, E. C.; BOAS, E. V. B. V.; LAMOUNIER, M. L. Caracterização química e física de frutos de curriola, gabioba e murici provenientes do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 096-103, 2015.

NASCIMENTO, V. T.; MOURA, N. P.; VASCONCELOS, M. A. S.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. P. A. Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 2112-2119, 2011.

OLIVEIRA, F.I.C.; BORDALLO, P.N.; CASTRO, A.C.R.; CORREIA, D. Genetic diversity of spineless *Cereus jamacaru* accessions using morphological and molecular markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 4586-4594, 2013.

PALADINI, M. V. **Caracterização de frutos, diversidade genética e estrutura espacial de jaboticabeiras nativas de fragmento florestal de Clevelândia-PR.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2016, 101 f.

PASSOS, M. A. B. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) ocorrentes em Roraima. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 5, n. 14, 2019.

PEREIRA, R. J.; CARDOSO, M. G. Metabólitos secundários vegetais e benefícios antioxidantes. **Journal of biotechnology and biodiversity**, v. 3, n. 4, p. 146-152, 2012.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of solvent and certain food constituents on different antioxidant capacity assays. **Food research international**, v. 39, n. 7, p. 791-800, 2006.

PERON, A. P. **Esterases para a análise de variabilidade genética em mandacaru** (Cactaceae). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011, 57 f.

POIROUX-GONORD, F.; BIDEL, L. P.; FANCIULLINO, A. L.; GAUTIER, H.; LAURI-LOPEZ, F.; URBAN, L. Health benefits of vitamins and secondary metabolites of fruits and vegetables and prospects to increase their concentrations by agronomic approaches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 23, p. 12065-12082, 2010.

RITZINGER, R.; KOBAYASHI, A. K.; OLIVEIRA, J. R. P. (Ed.) **A cultura da aceroleira.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003, 128 p.

ROCHA, Y. M.; FARIAS, H. N. S.; BARROS, G. G. M.; LOURENÇO, E. W. R.; PEREIRA, C. P.; BEZERRA, A. N. Plantas alimentícias não convencionais (PANCs) utilizadas por comunidades indígenas e tradicionais brasileiras. In: **Conexão FAMETRO: Inovação e criatividade**, Fortaleza, 2018.

SALES, M. S. L.; MARTINS, L. V.; SOUZA, I.; DEUS, M. S. M.; PERON, A. P. *Cereus jamacaru* de Candolle (Cactaceae), o mandacaru do nordeste brasileiro. **Ciência Biologia e Saúde**, v. 20, n. 2, p. 135-142, 2014.

SANTANA NETO, J. A.; CASTRO FILHO, E. S.; ARAÚJO, H. R. Potencial das cactáceas como alternativa alimentar para ruminantes no semiárido. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 12, n. 6, p. 4426-4434, 2015.

SANTOS, J. E. A.; FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização físico-química dos frutos das espécies de *Opuntia ficus indica* e *Opuntia stricta*. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia– CONTECC'2016** 29 de agosto a 2 de setembro de 2016, Foz do Iguaçu, Brasil.

SANTOS, M. A. C.; QUEIROZ, A. M.; SANTOS, A. S.; SANTOS, L. C.; CARNEIRO, P. C. S. Diversidade genética entre acessos de araçá de diferentes municípios do semiárido baiano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 48-57, 2014.

SANTOS, M. R. P. V.; CASTRO, J. C.; MARDIGAN, L. P.; WATANABE, R.; CLEMENTE, E. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 2081-2095, 2016.

SARMENTO, J. D. A.; MORAIS, P. L. D.; SOUZA, F. I.; MIRANDA, M. R. A. Physical-chemical characteristics and antioxidant potential of seed and pulp of *Ximenia americana* L. from the semiarid region of Brazil. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 20, p. 1743-1752, 2015.

SILVA, I. R. B. **Uso e exploração do mandacaru na visão de assentados da reforma agrária, no município de Sumé-PB**. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017, 57 f.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E. Evaluation of the physical-chemical composition of the fruits of Mandacaru. **Acta Agronômica**, v. 58, n. 4, p. 245-250, 2009.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTOS SANTANA, A.; KOBLITZ, M. G. B.
Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos
vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669-681, 2010.

SILVA, S. R.; ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; MACHADO, M. (org.) **Plano de ação
nacional para conservação das Cactáceas**. Brasília: Instituto Chico Mendes de
Conservação da Biodiversidade, 2011, 113 p.

SOUZA, R.L.A.; CORREIA, R.T.P.; Caracterização físico-química e bioativa do Figo-
da-Índia (*Opuntia ficus-indica*) e farinha de Algaroba (*Prosopis juliflora*) e avaliação
sensorial de produtos derivados. **Revista Alimentos e Nutrição-Brazilian Journal of
Food and Nutrition**. v. 24, n. 4, p. 369-377, 2013.

CAPÍTULO II

DIVERSIDADE GENÉTICA ENTRE INDIVÍDUOS DE *Cereus jamacaru* (CACTACEAE)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a diversidade genética de espécimes de *Cereus jamacaru* DC. por caracteres morfológicos da planta, físico-química do fruto e marcadores RAPD de populações nativas de diferentes localidades do semiárido do Brasil. Foi coletado material vegetal de 30 genótipos de mandacaru, em três municípios do estado do Rio grande do Norte, Brasil (Apodi, Patú e Upanema). Para a diversidade genética utilizou-se iniciadores RAPD. Os frutos provenientes da população de Apodi-RN são maiores. Os frutos coletados em Patú-RN exibiram coloração de casca mais intensa. Os frutos colhidos na população de Upanema apresentaram maior doçura. Existe diversidade genética entre e dentro das populações de *C. jamacaru* estudadas. O descritor de maior importância para a divergência fenotípica foi o peso médio dos frutos. Foi observada diversidade genotípica e fenotípica entre os genótipos estudados, o que mostra que os caracteres morfológicos da planta e físico-químico dos frutos estão sofrendo plasticidade de acordo com as características ambientais a que estão expostas. Os genótipos AP-06 e UP-01 por apresentarem maior distância genética podem ser utilizados em futuros cruzamentos que visem o melhoramento genético da espécie.

Palavras-chave: Mandacaru, descritores fenotípicos, qualidade de frutos, iniciadores RAPD, Caatinga.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the genetic diversity of *Cereus jamacaru* DC by plant morphological, physicochemical characteristics of the fruit and RAPD markers of native populations from different locations in the semiarid region of Brazil. Vegetable material from 30 mandacaru genotypes was collected in three cities in the state of Rio Grande do Norte, Brazil (Apodi, Patú and Upanema). RAPD initiators were used to analyze genetic diversity. The fruits from the city of Apodi-RN are bigger. The fruits collected in Patú-RN exhibited more intense peel color. The fruits harvested in Upanema-RN showed greater sweetness. Among and within the populations of *C. jamacaru* studied there is genetic diversity. The most important descriptor for phenotypic divergence was the average weight of the fruits. Genotypic and phenotypic diversity was observed among the studied genotypes, showing that the plant's morphological and physicochemical characteristics of the fruits are suffering plasticity according to the environmental characteristics to which they are exposed. The genotypes AP-06 and UP-01 can be used in future crosses because they present greater genetic distance, aiming at the genetic improvement of the species.

Keywords: *Mandacaru*. Phenotypic descriptors. Fruit quality. RAPD Initiators. *Caatinga*.

INTRODUÇÃO

A família Cactaceae (Juss.) possui mais de 125 gêneros e 2.000 espécies presentes em todo o mundo. O Brasil é considerado o terceiro maior centro de diversidade desta família, com 39 gêneros e 260 espécies distribuídas em todo o seu território, o que corresponde a cerca de 30% dos gêneros existentes no Novo Mundo (Austrália, Nova Zelândia, África do Sul, Estados Unidos, Argentina, Chile, Uruguai, Brasil, México, Canadá, China e Índia) (SALES et al., 2014; BRAVO FILHO et al., 2018). Essas plantas possuem adaptações para sobreviver em lugares pobres em nutrientes e com limitação de água, sob intensa radiação solar e temperatura elevada, formando, assim, a paisagem típica da região semiárida do Nordeste brasileiro.

O mandacaru, uma cactácea nativa do bioma Caatinga, é considerado uma planta de grande importância para a população do Semiárido, sendo utilizada como ornamental (BEVILAQUA et al., 2015). Na medicina popular, para a cura de gripes e resfriados (ROCHA et al., 2018), para tratamento de infecções urinárias e renais, prisão de ventre (SILVA et al., 2011) e de úlceras gástricas (BEVILAQUA et al., 2015).

Esta espécie é muito importante para a região, principalmente durante o longo período de estiagem, que ocorre no segundo semestre do ano, servindo como recurso forrageiro estratégico na composição das dietas dos ruminantes e atendendo parte do requerimento de água destes animais. Também é parte da dieta de famílias carentes, que consomem o cladódio cozido ou *in natura* fazendo parte das plantas alimentícias não convencionais (PASSOS, 2019; ROCHA et al., 2018).

Os frutos do mandacaru é boa fonte de vitamina C, polifenóis, betacianinas, betaxantinas, potássio, magnésio, cálcio e ferro (NASCIMENTO et al., 2011; LIMA, 2016), sendo consumidos *in natura*, na forma de geleias, iogurtes e sorvetes (FIDELIS et al., 2015). No entanto, muitos fatores podem interferir na qualidade dos frutos, sejam eles intrínsecos, referentes a cultivar e a espécie, ou extrínsecos, referentes ao local de ocorrências, como salinidade, sodicidade, deficiência hídrica e práticas culturais, quando se trata de espécies cultivadas (MDITSHWA et al., 2013).

O fato de não existir uma variedade de mandacaru que tenha características agrônômicas reconhecidas, principalmente as de produção, torna-se arriscado o cultivo dessas culturas em grande escala, em função dos custos de produção e da resposta de crescimento do

genótipo propagado. Sendo assim, torna-se necessário catalogar os materiais genéticos promissores, já que é notável a existência de variabilidade genética nas espécies, principalmente quando se observa as características morfológicas existentes, tal como plantas de coloração distinta, com variações no tamanho e divergências na forma de crescimento (ALMEIDA et al., 2019).

O estudo da diversidade genética de populações através de características fenotípicas é de grande importância para a compreensão de como os fatores ambientais influenciam as características da planta e do fruto, propiciando o manejo adequado para a otimização das características desejáveis. Permite, ainda, o direcionamento de cruzamentos em programas de melhoramento genético, visando a obtenção de genótipos superiores.

O objetivo deste trabalho foi estudar a diversidade genética de espécimes de *Cereus jamacaru* DC. por caracteres morfológicos da planta, físico-química do fruto e marcadores RAPD de populações nativas de diferentes localidades do semiárido.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material vegetal

Foram coletados três frutos por planta em três populações, localizadas no Estado do Rio Grande do Norte/Brasil, nos municípios de Apodi, Patu e Upanema. Em cada uma dessas populações foram identificadas e georreferenciados 10 espécimes de *Cereus jamacaru* DC. (Tabela 1) com auxílio de GPS (Referenciador Geográfico de Posição). A seleção dos genótipos foi feita ao acaso obedecendo um distanciamento mínimo de 10 metros entre as plantas. Foram realizadas visitas quinzenais nas diferentes localidades no período de janeiro a dezembro de 2017 para a caracterização morfológica dos genótipos e para a coleta dos frutos.

Apodi, Patu e Upanema estão localizadas na mesorregião Oeste potiguar. Apodi e Upanema possuem clima predominante tipo BSw^h, e Patu é classificado como Aw segundo a classificação climática de Köppen (ALVAREZ et al., 2014).

Tabela 1. Descrição da localização das plantas de *Cereus jamacaru*. UFERSA, Mossoró/RN, 2020.

Genótipo	Município	Georeferenciamento
AP-01	Apodi-RN	5° 39'564"S/37° 50'807"W
AP-02	Apodi-RN	5° 39'562"S/37° 50'807"W
AP-03	Apodi-RN	5° 39'552"S/37° 50'806"W
AP-04	Apodi-RN	5° 39'546"S/37° 50'805"W
AP-05	Apodi-RN	5° 39'537"S/37° 50'807"W
AP-06	Apodi-RN	5° 39'533"S/37° 50'807"W
AP-07	Apodi-RN	5° 39'510"S/37° 50'810"W
AP-08	Apodi-RN	5° 39'437"S/37° 50'855"W
AP-09	Apodi-RN	5° 39'421"S/37° 50'856"W
AP-10	Apodi-RN	5° 39'421"S/37° 50'857"W
PT-01	Patú-RN	6° 8'243"S/37° 38'703"W
PT-02	Patú-RN	6° 8'231"S/37° 38'701"W
PT-03	Patú-RN	6° 8'233"S/37° 38'669"W
PT-04	Patú-RN	6° 8'244"S/37° 38'643"W
PT-05	Patú-RN	6° 8'241"S/37° 38'641"W
PT-06	Patú-RN	6° 8'227"S/37° 38'640"W
PT-07	Patú-RN	6° 8'226"S/37° 38'640"W
PT-08	Patú-RN	6° 8'224"S/37° 38'640"W
PT-09	Patú-RN	6° 8'223"S/37° 38'640"W
PT-10	Patú-RN	6° 8'221"S/37° 38'640"W
UP-01	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'828"W
UP-02	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'829"W
UP-03	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'830"W
UP-04	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'831"W
UP-05	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'832"W
UP-06	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'833"W
UP-07	Upanema-RN	5° 37'967"S/37° 15'834"W
UP-08	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'836"W
UP-09	Upanema-RN	5° 37'967"S/37° 15'839"W
UP-10	Upanema-RN	5° 37'967"S/37° 15'841"W

Em cada população de mandacaru estudada foram obtidas 10 amostras de solo em zigzag, da camada superficial (0-20 cm) com auxílio de trado e homogêneas no próprio local de coleta, a fim de se obter uma amostra composta. Em seguida as amostras compostas foram levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo e foram analisadas o pH (potencial hidrogeniônico), a CE (condutividade elétrica), o teor de K (potássio), Ca (cálcio) e Na (sódio), segundo metodologia de Silva (1997). Também foram coletadas as médias anuais de precipitação e temperatura do período correspondente a outubro de 2016 a dezembro

de 2017 de cada localidade do banco de dados da EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte) conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2. Média anual de precipitação*, temperatura, altitude e características físico-química do solo** das populações estudadas.

População	P	T	A	pH	CE	K	Ca	Na
	(mm)	(°C)	(m)		dS/m		(mmolc/dm ³)	
Apodi-RN	45,25	35,70	61,90	5,57	0,23	4,40	1,40	0,50
Patu-RN	38,05	35,22	433,80	4,77	5,45	5,85	2,95	4,45
Upanema-RN	35,38	35,55	24,00	6,55	0,28	3,45	1,45	0,60

Precipitação (P), Temperatura (T), Altitude (A), potencial hidrogeniônico (pH), Condutividade elétrica (CE), Potássio (K), Calcio (Ca) e Sódio (Na). Fonte: *EMPARN, 2020, médias anuais de precipitação de outubro de 2016 a dezembro de 2017, **as análises foram realizadas na camada superficial do solo de 0-20 cm, conforme metodologia de Silva (1997).

Os frutos foram coletados manualmente no estágio de maturação descrito como IPV (início da pigmentação vermelha), que consiste na mudança da coloração da casca da cor verde para a cor vermelha, conforme evolução de maturação descrita por Melo et al., (2017), e acondicionados em *cooller* térmico com gelo até o Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita. A escolha dos frutos neste estágio se deu, devido ao fato dos frutos totalmente vermelhos estarem já abertos ou predados por animais. As coletas foram realizadas no período de frutificação, obedecendo à fenologia própria da espécie, sendo identificada a localidade e a planta a que pertenciam.

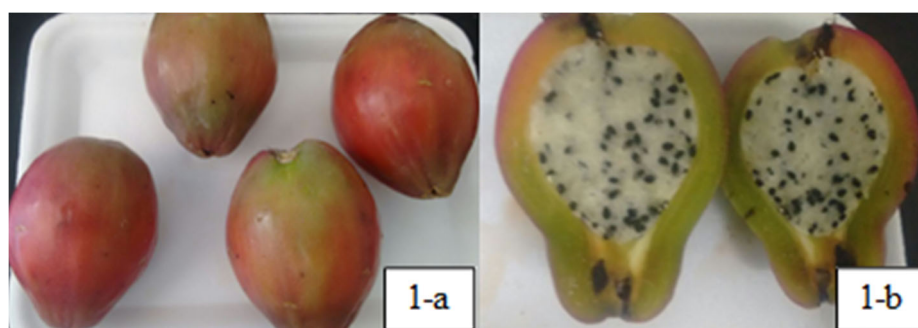


Figura 1. Frutos de Mandacaru (*Cereus jamacaru*), provenientes de diferentes populações do semiárido potiguar. 1-a: frutos intactos no início da pigmentação; 1-b: frutos cortados longitudinalmente. Fonte: Autores, (2017).

Caracterização Morfológica das plantas

Para a caracterização morfológica dos genótipos foram obtidos: altura da planta (APL), medida do colo até altura do maior cladódio); altura do cladódio (ACL), utilizando régua graduada; diâmetro do cladódio (DCL), utilizando trena métrica; número de costelas (NCO); espessura do cladódio (ECL) utilizando paquímetro digital, segundo Cavalcante et al. (2011). Para as variáveis ACL, DCL, NCO e ECL, foram utilizados até 10 cladódios por plantas.

O diâmetro da auréola do cladódio (DAR), número de espinhos por aréola (NES) e altura dos espinhos centrais (AES) foram obtidos segundo Oliveira et al. (2013) com auxílio de paquímetro digital. Para essas variáveis, foram utilizadas medições de 30 aréolas por genótipo.

Caracterização físico-química dos frutos

O peso médio dos frutos (PMF) foi obtido utilizando balança digital semi-analítica. O diâmetro longitudinal do fruto (DLF) e o diâmetro transversal do fruto (DTF) dos frutos foram obtidos utilizando paquímetro digital. Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo do índice de formato do fruto (IFF), que consiste na razão entre o DLF/DTF (comprimento e largura) para posterior classificação em: comprimido ($RF < 0,9$), esférico ($0,9 \leq RF \leq 1,1$), oblongo ($1,1 < RF \leq 1,7$) e cilíndrico ($RF > 1,7$) (LOPES, 1982). A espessura da casca do fruto (ESF) foi obtida utilizando paquímetro digital em quatro pontos da casca.

A firmeza do fruto (FPO) foi obtida utilizando texturômetro digital computadorizado da marca *Stable Micro Systems*, modelo TA.XTExpress/TA.XT2icon, utilizando um *plunger* de 5 mm de diâmetro, a uma velocidade de 10 mm/s, por 10 mm de profundidade, utilizando força de 0,049 N, onde foram feitas duas medições por fruta, uma em cada lado da casca, logo após a chegada dos frutos ao laboratório. O rendimento do fruto (REF) foi obtido pela pesagem individual dos frutos despulpados, pela diferença entre o peso total do fruto e o peso do fruto despulpado, o despulpamento foi feito manualmente com auxílio de espátula. Para as análises físicas foram utilizados 30 frutos de cada localidade sendo utilizados três por planta.

A coloração da casca e da polpa foi expressa em L (luminosidade – brilho, claridade ou refletância), C* (croma – saturação ou intensidade da cor) e °h (ângulo hue – tonalidade) de acordo com Minolta (2007), com auxílio de um colorímetro digital de bancada (CR-410,

Minolta®). As leituras na casca foram determinadas aleatoriamente. Para a coloração da polpa foram determinadas no centro de ambas as partes seccionadas, considerando a média entre elas.

O pH foi obtido diretamente na polpa processada com auxílio de pHmetro (modelo xx) com ajuste automático de temperatura, conforme Instituto Adolfo Lutz, (2005). O teor de sólidos solúveis (SST) foi obtido por análise direta utilizando refratômetro digital com compensação automática de temperatura (modelo PR-100, Pallete, Atago Co, LTDA), segundo metodologia da Association of Official Analytical Chemistry (2002). A acidez titulável (ATT) foi determinada conforme IAL (2005), utilizando 1,00 g da polpa processada. A relação RSA foi obtida pela divisão dos valores de SST pelos obtidos na ATT. Os açúcares totais (ACT) foram determinados conforme Yemn e Willis (1954), utilizando 30,00 µL do extrato obtido pela diluição de 1,00 g da polpa processada para um balão volumétrico de 50 mL contendo água destilada. Para os açúcares redutores (ACR), a extração foi feita em água destilada e determinada segundo Miller (1959), utilizando 800,00 µL do mesmo extrato utilizado nos ACT.

Caracterização molecular das plantas

O material vegetal coletado, foi levado para o Laboratório de Biotecnologia Vegetal, localizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Leste, Mossoró/RN. Inicialmente com o auxílio de um instrumento perfuro cortante, foi realizado um corte transversal no cladódio da planta, para retirada do seguimento a ser analisado. Em seguida foi feita a remoção de espinhos das costelas, e cortes transversais ao longo dos cladódios. Para higienização foi utilizado papel toalha e para o armazenamento sacos plásticos *zip lock*. O material permaneceu acondicionado em freezer até o dia da extração. As amostras foram liofilizadas por um período de 48 h, a fim de diminuir a mucilagem.

Cerca de 100 mg de células da epiderme do cladódio foi macerado na presença de nitrogênio líquido e utilizado para a extração do DNA genômico através do kit comercial de extração, NucleoSpin Plant II (Macherey Nagel®), conforme protocolo sugerido pelo fabricante. As amostras de DNA foram quantificadas em gel de agarose a 1,5 %, submetidas a eletroforese a 100 V por 30 minutos, corado em brometo de etídio (10 µg/mL) e fotodocumentado em AlphaImager® Mini, ProteinSimple, na presença de luz UV.

Um teste prévio de polimorfismo foi realizado utilizando-se 40 marcadores RAPD da série OPM (OPM-01 a OPM-20) e OPH (OPH-01 a OPH-20) (Tabela 3), com os genótipos

A-09 e P-05. A escolha desses genótipos se deu pelo fato de serem, respectivamente, provenientes das populações de Apodi e Patu, pois estas populações estão separadas geograficamente por cerca de 80 Km, o que poderia aumentar as chances de se detectar variações a nível de DNA.

As reações de amplificação foram realizadas num volume final de 12 µl, contendo água milli-q estéril, 30 ng de DNA genômico, 1 X tampão de reação, 0,25 g/mL BSA purificada, 0,33 µM de cada *primer* RAPD, 0,16 mM de dNTPs, 1 U/µL Taq DNA polimerase e por fim adicionados 10 µl de óleo mineral para evitar a evaporação durante o processo de PCR.

As amplificações foram realizadas em termociclador automático (Amplitherm modelo TX96 PLUS) e consistiu em uma etapa inicial de desnaturação por 95 °C por 5 minutos, seguida de 40 ciclos de amplificações a 92 °C por 1 minuto, a 40 °C por 1 minuto, a 72 °C por

Tabela 3. Sequência dos *primers* RAPD arbitrários empregados para amplificação de PCR-RAPD de *Cereus jamacaru*. UFERSA, Mossoró/RN, 2020.

Primer	Sequência	Primer	Sequência
OPM-01	5'-GTTGGTGGCT-3'	OPH-01	5'-GGTCGGAGAA-3'
OPM-02	5'-ACAACGCCTC-3'	OPH-02	5'-TCGGACGTGA-3'
OPM-03	5'-GGGGGATGAG-3'	OPH-03	5'-AGACGTCCAC-3'
OPM-04	5'-GGCGGTTGTC-3'	OPH-04	5'-GGAAGTCGCC-3'
OPM-05	5'-GGGAACGTGT-3'	OPH-05	5'-AGTCGTCCCC-3'
OPM-06	5'-CTGGGCAACT-3'	OPH-06	5'-ACGCATCGCA-3'
OPM-07	5'-CCGTGACTCA-3'	OPH-07	5'-CTGCATCGTG-3'
OPM-08	5'-TCTGTTCCCC-3'	OPH-08	5'-GAAACACCCC-3'
OPM-09	5'-GTCTTGCGGA-3'	OPH-09	5'-TGTAGCTGGG-3'
OPM-10	5'-TCTGGCGCAC-3'	OPH-10	5'-CCTACGTCAG-3'
OPM-11	5'-GTCCACTGTG-3'	OPH-11	5'-CTTCCGCAGT-3'
OPM-12	5'-GGGACGTTGG-3'	OPH-12	5'-ACGCGCATGT-3'
OPM-13	5'-GGTGGTCAAG-3'	OPH-13	5'-GACGCCACAC-3'
OPM-14	5'-AGGGTCGTTC-3'	OPH-14	5'-ACCAGGTTGG-3'
OPM-15	5'-GACCTACCAC-3'	OPH-15	5'-AATGGCGCAG-3'
OPM-16	5'-GTAACCAGCC-3'	OPH-16	5'-TCTCAGCTGG-3'
OPM-17	5'-TCAGTCCGGG-3'	OPH-17	5'-CACTCTCCTC-3'
OPM-18	5'-CACCATCCGT-3'	OPH-18	5'-GAATCGGCCA-3'
OPM-19	5'-CCTTCAGGCA-3'	OPH-19	5'-CTGACCAGCC-3'
OPM-20	5'-AGGTCTTGGG-3'	OPH-20	5'-GGGAGACATC-3'

2 minutos, seguidos por mais 5 minutos a 72 °C, para a completa extensão dos produtos amplificados.

Os produtos da amplificação foram submetidos à eletroforese horizontal a 110V por 120 minutos em uma solução de tampão TBE 1x, aplicados em gel de agarose a 1,5%, corado com brometo de etídio (10 µg/mL), acrescido de 3 µl de uma solução de azul de bromofenol. Posteriormente, o gel foi visualizado em luz ultravioleta e fotografado em equipamento fotodocumentador (AlphaImager® Mini, ProteinSimple). Foi utilizado como padrão de peso molecular o 1Kb ladder (BioLabs/New England). Bandas fracas não foram consideradas na análise (OLIVEIRA et al., 2013).

Análises estatísticas

Para os dados morfológicos da planta e físico-químico dos frutos realizou-se a análise de variância uni e multivariada com aplicação dos testes F de Snedecor e o critério de Wilks, respectivamente. As médias das populações foram comparadas entre si pelo teste t. Todas as análises foram realizadas utilizando um nível nominal de significância de 5% de probabilidade utilizando o pacote Exp.Des.Pt do programa R (PINHEIRO et al., 2019).

Para cada marcador foram calculados o conteúdo de informação polimórfica (PIC) (ROLDÀN-RUIZ et al., 2000), número de marcas, número de marcas polimórficas e porcentagem dos locos polimórficos. Para cada população estimou-se a porcentagem de locos polimórficos, a distância de Nei (1978), o índice de Shannon e o fluxo gênico foram estimados via POPGENE versão 3.2 (YEH et al. 1999). Realizou-se a AMOVA utilizando o programa software GenAIEx versão 6.5 (PEAKALL; SMOUSE 2012).

As matrizes de dissimilaridade dos indivíduos das populações foram estimadas pela distância euclidiana padronizada para dados moleculares e pelo complemento do índice de Jaccard para dados moleculares. Os dendrogramas para as matrizes dos dados morfológicos da planta, físico-químico dos frutos e moleculares foram construídos pelo método hierárquico UPGMA (Unweighted Pair-Group Method Analysis) e utilizou-se a correlação cofenética para verificar a qualidade de agrupamento utilizando os pacotes. Todas essas análises foram realizadas pelo programa R, utilizando os pacotes PheatMap e Biotools.

O ponto de corte utilizado para a formação dos grupos seguiu a metodologia de Mojena (1972) e a contribuição de cada característica para a divergência foi estimada pelo método de Singh (1981). Essas análises foram processadas usando o programa Genes (CRUZ, 2016).

RESULTADOS

Caracterização Morfológica das plantas e físico-química dos frutos

Observou-se efeito entre populações ($p < 0,01$; $p < 0,05$) para a maioria dos caracteres avaliados, as únicas exceções foram diâmetro do cladódio (DLC), altura do cladódio (ACL), peso médio dos frutos (PMF), índice de formato do fruto (IFF), rendimento do fruto (REF), espessura da casca do fruto (ESF) (Tabela 4), açúcares totais (ACT), tonalidade de cor da casca (HCA), tonalidade de cor da polpa (HPO) (Tabela 5). Considerando todos os caracteres estudados ao mesmo tempo, verificou-se diferenças genotípicas significativas ($F_{Wilks} = 6,57$, $p < 0,001$).

A população de Apodi destacou-se por apresentarem frutos com maior diâmetro transversal (DTF) e maior diâmetro longitudinal (DLF). Já as plantas da população de Patu destacaram-se por apresentarem valores superiores de diâmetro de aréolas (DAR), altura de espinhos (AES) e frutos com maior cromaticidade da casca (CCA). A população de Upanema destacou-se por apresentar plantas com maior número de costelas, e frutos com maior firmeza da polpa (FPO), com maior cromaticidade da polpa (CPO), maior conteúdo de sólidos solúveis (SST) e maior relação sólidos solúveis e acidez titulável (RSA).

Tabela 4. Estimativas de F de Snedecor e de médias das populações de caracteres morfológicos da planta e físicos dos frutos avaliados em três populações de *Cereus jamacaru*. Mossoró-RN, 2020.

Local	Médias (Caracteres)							
	Planta (Morfológicos)							
	APL	NCO	DCL	ACL	ECL	DAR	NES	AES
Apodi	2,63a	6,20b	88,84a	1,35a	10,09a	6,62b	10,92b	15,19b
Patu	2,62a	6,60b	84,66a	1,69a	6,19b	8,47a	12,49a	19,64a
Upanema	1,55b	7,10a	92,74a	1,19a	9,70a	6,49b	12,07a	16,30b
F	5,70**	4,25*	1,13 ^{ns}	1,89 ^{ns}	17,88**	54,17**	4,38*	6,64**
CV(%)	36,09	10,42	13,54	41,63	18,57	6,62	10,37	16,69
	Fruto (Físicas)							
	PMF	DLF	DTF	IFF	REF	ESF	FPO	
Apodi	143,80a	93,91a	67,79 ^a	1,41a	53,85a	6,39 ^a	23,27b	

Patú	125,27a	72,30b	56,03b	1,29a	56,09a	6,32a	24,22b
Upanema	159,17a	79,25b	60,09b	1,33a	56,98a	5,73a	29,30a
F	1,12 ^{ns}	5,50*	4,10*	1,36 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,64 ^{ns}	3,59*
CV(%)	35,54	18,19	15,22	12,32	18,36	14,31	21,14

******, *****, Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F de Snedecor. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t ($p > 0,05$). $F(\text{Wilks}) = 6,57^{**}$. APL: Altura da planta (m); NCO: Número de costelas; DCL: Diâmetro do cladódio (mm); ACL: Altura do cladódio (m), ECL: Espessura do cladódio (mm); DAR: Diâmetro da aréola do cladódio (mm); NES: Número de espinhos por aréola; AES: Altura dos espinhos centrais (mm); PMF: Peso médio do fruto (g); DLF: Diâmetro longitudinal do fruto (mm); DTF: Diâmetro transversal do fruto (mm); IFF: Índice de formato do fruto; REF: Rendimento do fruto (%); ESF: Espessura da casca do fruto (mm); FPO: Firmeza da casca do fruto (N).

Tabela 5. Estimativas de F de Snedecor e de médias das populações para caracteres físico-químicos de frutos avaliados em três populações de *Cereus jamacaru*. Mossoró-RN, 2020.

População	Média (Caracteres)					
	Fruto (Físicos)					
	LCA	CCA	HCA	LPO	CPO	HPO
Apodi	37,97b	17,02b	42,62a	60,01a	5,80b	96,28a
Patú	41,40a	23,22a	43,58a	53,83b	6,23b	94,86a
Upanema	41,33a	17,65b	46,73a	63,63a	8,78a	96,82a
F	6,02*	19,84 ^{**}	0,42 ^{ns}	14,59 ^{**}	11,85 ^{**}	0,25 ^{ns}
CV (%)	6,28	12,55	23,71	6,93	21,32	6,73
	Fruto (Químicos)					
	SST	PH	ATT	RSA	ACT	ACR
Apodi	8,55b	4,73a	0,26a	33,24b	10,83a	5,95b
Patú	8,68b	4,69a	0,24a	36,69b	9,53a	8,09a
Upanema	10,62a	4,37b	0,21b	51,78a	8,32a	7,23a
F	19,21 ^{**}	18,42 ^{**}	9,42 ^{**}	25,88 ^{**}	2,73 ^{ns}	4,21*
CV (%)	8,99	3,12	12,75	15,11	25,12	23,40

******, *****, Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F de Snedecor. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t ($p > 0,05$). $F(\text{Wilks}) = 6,57^{**}$. SST: Sólidos solúveis (°Brix); pH: Potencial hidrogeniônico; ATT: Acidez titulável (%); RSA: Relação entre sólidos solúveis e acidez titulável; ACT: Açúcares totais (%); ACR: Açúcares redutores (%); LCA: Luminosidade da cor da casca; CCA: Cromaticidade da cor da casca; HCA: Tonalidade de cor da casca; LPO: Luminosidade da cor da polpa; CPO: Cromaticidade da cor da polpa; HPO: Tonalidade de cor da polpa.

A variância entre as populações foi maior em oito dos vinte e sete caracteres avaliados, DAR, ECL, PH, RSA, SST, CCA, CPO e LPO (Figura 2). Os caracteres com maior variância

dentro das populações foram ACL, AES, APL, DCL, NCO, NES, DLF, DTF, ESF, FPO, IFF, PMF, REF, ACR, ACT, ATT, HCA, HPO, indicando que a maior parte da variação total está entre os genótipos estudados de cada população (Figura 2).

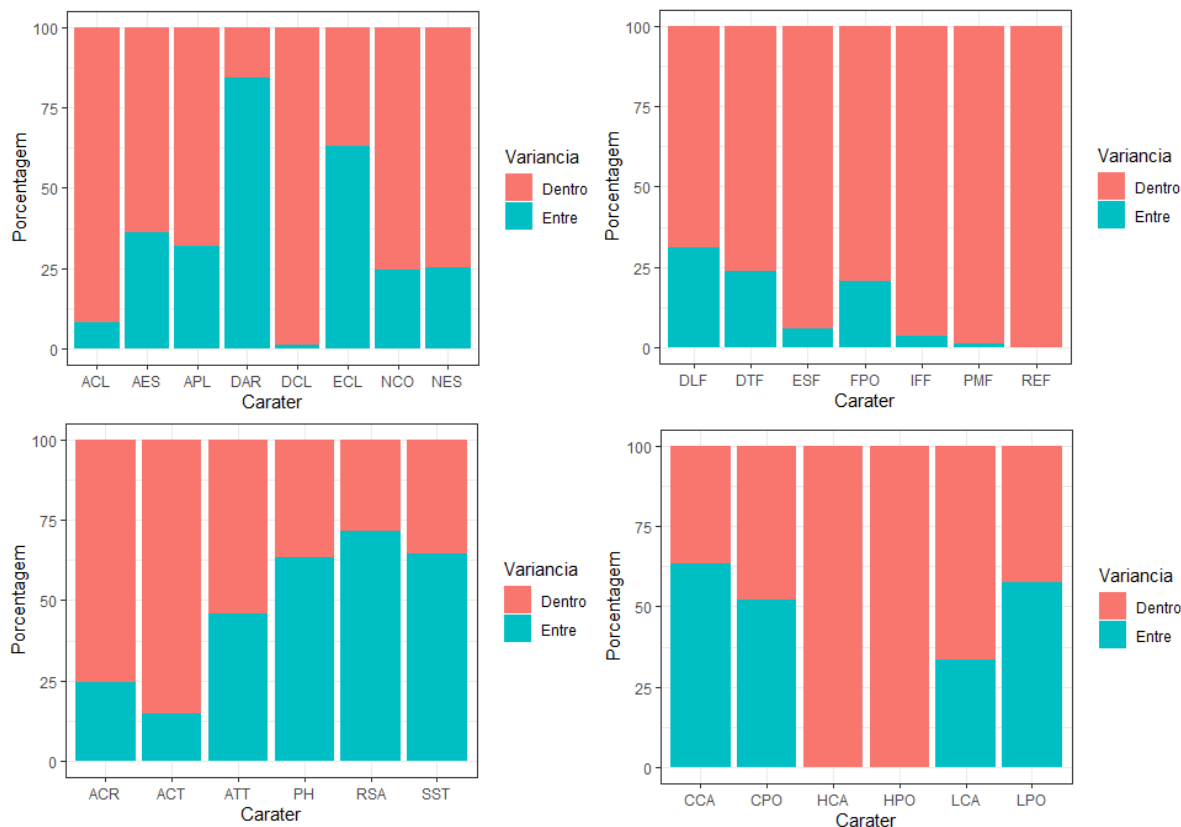


Figura 2. Porcentagem das variâncias entre ($\hat{\sigma}_{pop}^2$) e dentro ($\hat{\sigma}_d^2$) para caracteres morfológicos da planta e do fruto avaliados em três populações de *Cereus jamacaru*. Mossoró-RN, 2020. APL: Altura da planta (m); NCO: Número de costelas; DCL: Diâmetro do cladódio (mm); ACL: Altura do cladódio (m), ECL: Espessura do cladódio (mm); DAR: Diâmetro da aréola do cladódio (mm); NES: Número de espinhos; AES: Altura dos espinhos (mm); PMF: Peso médio do fruto (g); DLF: Diâmetro longitudinal do fruto (mm); DTF: Diâmetro transversal do fruto (mm); IFF: Índice de formato do fruto; REF: Rendimento do fruto (%); ESF: Espessura da casca do fruto (mm); FPO: Firmeza da casca do fruto (N); SST: Sólidos solúveis (°Brix); pH: Potencial hidrogeniônico; ATT: Acidez titulável (%); RSA: Relação entre sólidos solúveis e acidez titulável; ACT: Açúcares totais (%); ACR: Açúcares redutores (%); LCA: Luminosidade da cor da casca; CCA: Cromaticidade da cor da casca; HCA: Tonalidade de cor da casca; LPO: Luminosidade da cor da polpa; CPO: Cromaticidade da cor da polpa; HPO: Tonalidade de cor da polpa.

Os indivíduos das três populações foram distribuídos em cinco grupos a partir dos dados morfológicos da planta e físico-química dos frutos (Figura 3). O primeiro grupo correspondeu ao indivíduo AP-09. De um modo geral, esse indivíduo apresentou maiores valores para ACL, e menores valores para CPO e HPO. No segundo grupo foram alocados

todos os indivíduos de Upanema. Os indivíduos desse segundo grupo possuem maiores valores médios de NDC, ECL, FPO, SST, RSA, LCA, LPO e CPO, enquanto os menores valores foram verificados nos caracteres APL, DAR, PH e ATT.

No terceiro grupo foram inseridos os genótipos AP-05 e AP-06 e todos os indivíduos de Patu. Esse grupo destacou-se por apresentar maiores valores para APL, DAR, NES, AES, ESF, REF, PH, ATT, ACT, ACR e CCA, e menores valores para ECL, PMF, DLF, DTF, IFF e LPO. O quarto grupo alocou os indivíduos de Apodi AP-01 e AP-02. Com maiores médias de HPO e HCA, e menores médias de NES, ACT e ACR.

O quinto grupo correspondeu aos demais genótipos provenientes de Apodi AP-07, AP-08, AP-10, AP-03 e AP-04. Caracterizado por apresentarem maiores DLF, DTF e IFF, e menores LCA e CCA.

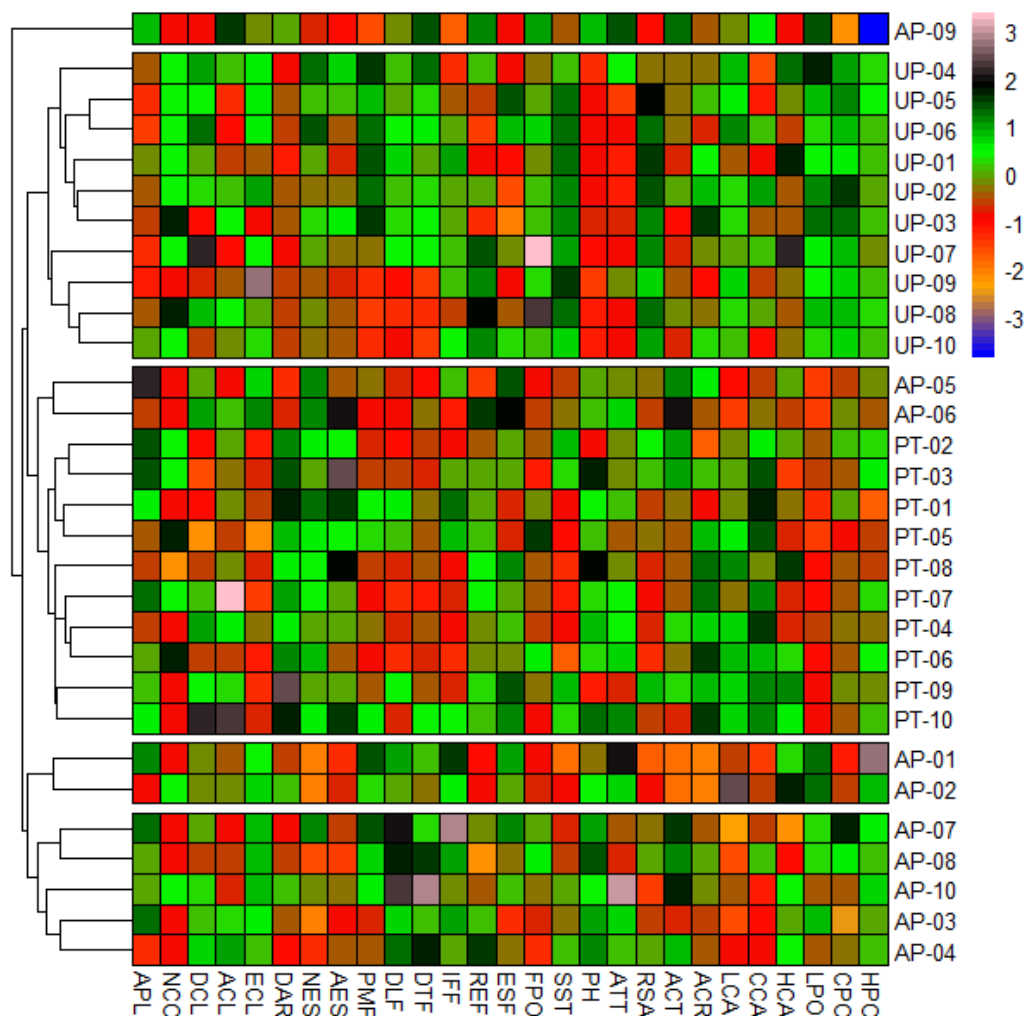


Figura 3. Dendrograma de indivíduos de três populações de *Cereus jamacaru*, gerado pelo método UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas padronizadas obtida em vinte e sete caracteres da planta e do fruto. APL: Altura da planta (cm) ; NCO: Número de cladódios; DCL: Diâmetro do cladódio (cm); ACL: Área do cladódio (cm²), ECL: Espessura do cladódio (cm); DAR: Diâmetro da área do cladódio (cm); NES: Número de espinhos; AES: Altura dos

espinhos (cm); PMF: Peso médio do fruto (g); DLF: Diâmetro longitudinal do fruto (cm); DTF: Diâmetro transversal do fruto (cm); IFF: Índice de formato do fruto; REF: Rendimento do fruto (%); ESF: Espessura da polpa (cm); FPO: Firmeza da casca do fruto (N); SS: Sólidos solúveis (°Brix); pH: Potencial hidrogeniônico; ATT: Acidez titulável (%); RSA: Relação entre sólidos solúveis e acidez titulável; ACT: Açúcares totais; ACR: Açúcares redutores; LCA: Luminosidade da cor da casca; CCA: Cromaticidade da cor da casca; HCA: Tonalidade de cor da casca; LPO: Luminosidade da cor da polpa; CPO: Cromaticidade da cor da polpa; HPO: Tonalidade de cor da polpa. Correlação cofenética ($r = 0,84^{**}$).

A variável que mais contribuiu para a divergência genética foi o peso médio do fruto (71,88%), seguida por diâmetro longitudinal do fruto, diâmetro do cladódio, diâmetro transversal do fruto, tonalidade de cor da casca e relação RSA (Tabela 6). A contribuição conjunta dos referidos caracteres foi de 92,65% enquanto os demais caracteres somaram apenas 7,35% da divergência genética.

Tabela 6. Contribuição de caracteres da planta e fruto para a divergência genética de indivíduos de três populações de *Cereus jamacaru*. Mossoró-RN, 2020.

Caráter	S _j	S _j (%)
Altura da planta (m) APL	771,62	0,02
Número de costelas NCO	509,00	0,02
Diâmetro do cladódio (mm) DCL	126852,04	4,04
Altura do cladódio (m) ACL	317,20	0,01
Espessura do cladódio (mm) ECL	4872,58	0,16
Diâmetro da aréola do cladódio (mm) DAR	920,98	0,03
Número de espinhos NES	1612,77	0,05
Altura dos espinhos (mm) AES	9780,24	0,31
Peso médio do fruto (g) PMF	2257706,44	71,88
Diâmetro longitudinal do fruto (mm) DLF	252499,45	8,04
Diâmetro transversal do fruto (mm) DTF	91896,89	2,93
Índice de formato do fruto IFF	24,34	0,00
Rendimento do fruto (%) REF	86071,64	2,74
Espessura da casca do fruto (mm) ESF	700,86	0,02
Firmeza da polpa (N) FPO	30038,71	0,96
Sólidos solúveis tos (°Brix) SST	1367,40	0,04
Potencial hidrogeniônico PH	39,49	0,00
Acidez titulável (%) ATT	1,25	0,00
Relação entre sólidos solúveis e acidez titulável RSA	88765,39	2,83

Açúcares totais (%) ACT	5618,03	0,18
Açúcares redutores (%) ACR	2924,08	0,09
Luminosidade da cor da casca LCA	7489,36	0,24
Cromaticidade da cor da casca CCA	11744,43	0,37
Tonalidade de cor da casca HCA	92174,67	2,93
Luminosidade da cor da polpa LPO	28322,93	0,90
Cromaticidade da cor da polpa CPO	3323,13	0,11
Tonalidade de cor da polpa HPO	34441,50	1,10
Total	3140786,41	100,00

S_j: Contribuição para a divergência genética (SINGH, 1981).

Caracterização molecular

Dos 40 iniciadores, doze produziram um nítido padrão de bandas polimórficas nas três populações, OPM-04, OPM-05, OPM-15, OPH-02, OPH-04, OPH-05, OPH-6, OPH-09, OPH-11, OPH-12, OPH-13 e OPH-17. Foram gerados um total de 174 fragmentos amplificados. O número de fragmentos por primer variou de 10 (OPH-02 e OPH-06) a 25 (OPM-04) e uma média de 14,50 por iniciador (Tabela 7). Cento e vinte cinco fragmentos polimórficos foram produzidos, sendo OPM-04, OPH-12 e OPH-13 aqueles com maior número de fragmentos polimórficos, 18, 22 e 18 respectivamente, e OPH-04 e OPH-05 os iniciadores com menor número de fragmentos polimórficos, 6 e 7 respectivamente.

A média do PIC (Conteúdo informativo de polimorfismo) foi de 0,293, variando de 0,240 (primer OPH-05) a 0,381 (primer OPH-13), sendo considerado moderadamente informativo. Os iniciadores OPH-13 e OPH-11 com porcentagem consideráveis de polimorfismo (P%) e maiores PIC, podem ser considerados os mais informativos e recomendados para estudos de divergência com *Cereus jamacaru*.

Tabela 7. Número total de fragmentos amplificados (NTFA), número total de fragmentos polimórficos (NTFP), porcentagem de polimorfismo (P%) e conteúdo de informação de polimorfismo (PIC) de iniciadores Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) selecionados para amplificação de genótipos de *Cereus jamacaru*. Mossoró-RN, 2020.

Primer	NTFA	NTFP	P (%)	PIC
OPM-04	25	18	72,00	0,312
OPM-05	13	8	61,54	0,376
OPM-15	13	9	69,23	0,259

OPH-02	10	8	80,00	0,281
OPH-04	11	6	54,54	0,252
OPH-05	12	7	58,33	0,240
OPH-06	10	8	80,00	0,237
OPH-09	13	11	84,61	0,299
OPH-11	11	10	90,90	0,331
OPH-12	22	15	68,18	0,271
OPH-13	18	13	72,22	0,381
OPH-17	16	12	75,00	0,275

O número de alelos (NA) variou de 1,48 (Upanema) a 1,86 (Apodi) enquanto o número efetivo de alelos (ne) de 1,26 (Upanema) a 1,43 (Apodi) (Tabela 8). A população de Apodi apresentou os maiores valores para diversidade genética ($h = 0,27$), índice de diversidade de Shannon ($I = 0,41$), número de locos polimórficos ($N_p = 108,0$) e porcentagem de locos polimórficos ($P_p = 86,40\%$). Os maiores valores para os quatro parâmetros foram constatados em Upanema.

Tabela 8. Diversidade genética dentro de três populações de *Cereus jamacaru* baseada em marcadores RAPD,

População	N	Na	Ne	H	I	N_p	P_p (%)
Apodi	10	1,86	1,43	0,27	0,41	108,00	86,40
Patú	10	1,61	1,33	0,20	0,30	76,00	60,80
Upanema	10	1,48	1,26	0,15	0,23	60,00	48,00

n: tamanho da amostra; na: número de alelos observados; ne: número de alelos efetivos (Kimura; Crown, 1964)); h : Diversidade genética (Nei, 1978); I : Índice de diversidade de Shannon (Lewontin, 1972); N_p : número de locos polimórficos; P_p : porcentagem de locos polimórficos.

A menor distância genética ($d = 0,075$) e o maior fluxo gênico ($N_m = 3,39$) foram verificados entre as populações Apodi e Patú (Tabela 9). A maior distância ($d = 0,078$) e o menor fluxo gênico ($N_m = 2,87$) ocorreu entre as populações Apodi e Upanema (as mais divergentes). A população Apodi foi a mais divergente em relação às outras duas populações.

Tabela 9. Distância genética (Nei, 1978) (acima da diagonal) e Fluxo gênico (abaixo da diagonal) entre de três populações de *Cereus jamacaru* baseada em marcadores RAPD,

População	Apodi	Patú	Upanema
Apodi		0,075	0,078

Patú	3,39	0,077
Upanema	2,87	2,46

Nm: fluxo gênico [$Nm = 0,5(1 - G_{st})/G_{st}$]

Na análise de agrupamento a partir dos dados moleculares foram verificados três grupos (Figura 4). Os indivíduos UP-01 e AP-06, provenientes de Upanema e Patú, respectivamente, não foram agrupados e cada um formou grupo unitário. Esses indivíduos apresentaram poucas marcas amplificadas. O terceiro grupo foi composto por 28 genótipos, nesse grupo, a maioria dos indivíduos possui a presença de várias marcas amplificadas. No referido grupo estão 100% dos indivíduos da população Apodi, 90% de Patu e 90% de Upanema.

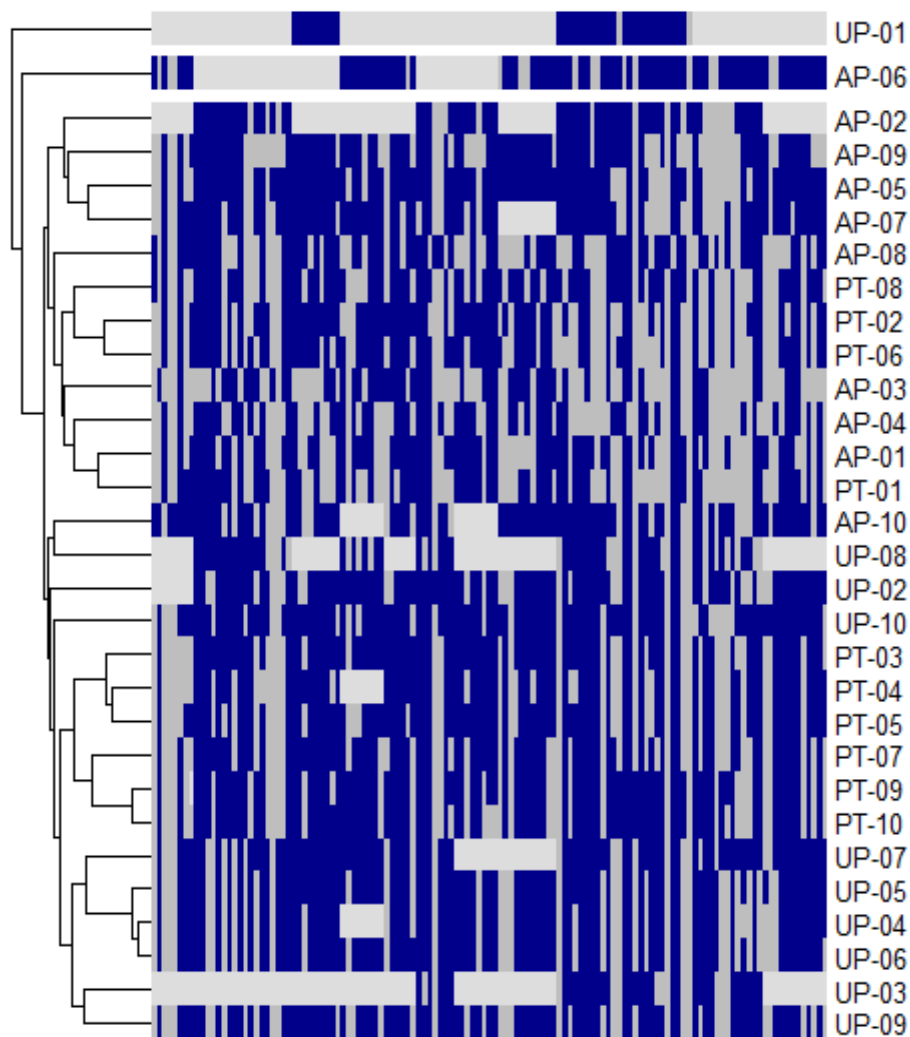


Figura 4. Dendrograma de indivíduos de três populações de *Cereus jamacaru*, gerado pelo método UPGMA a partir da matriz do complemento do índice de Jaccard obtido a partir de marcadores RAPD. Correlação cofenética ($r = 0,95^{**}$).

A avaliação da estruturação da variabilidade genética, realizada pela AMOVA (Tabela 10), forneceu uma estimativa global de $\Phi_{ST} = 0,17$ ($P < 0,01$, com 5.000 permutações), ou seja 17,00% da variação total encontra-se entre as populações. Os resultados indicam que a maior fonte de variação molecular está dentro das populações 82,22%.

Tabela 10. Análise de variância molecular (AMOVA) de três populações de *Cereus jamacaru*.

FV	gl	SQ	QM	Variância	% Variação	F _{ST}
Entre populações	2	85,80	42,90	2,94	17,78	0,17
Dentro populações	27	366,20	13,56	13,56	82,22	
Total	29	452,00		16,50	100%	

DISCUSSÃO

Caracterização Morfológica das plantas e físico-química dos frutos

De modo geral essas plantas apresentaram uma estratégia de compensação entre altura da planta, número de costelas, diâmetro do cladódio, altura do cladódio e espessura do cladódio, para que seja mantida a área fotossintética, já que, como em outras cactáceas o órgão responsável pela fotossíntese é o caule (Tabela 4). Foi observado que os genótipos provenientes de Patu, que mesmo sobre elevada sodicidade e salinidade, esses genótipos foram capazes de promover as maiores brotações (DAR e AES).

Observa-se ainda que os genótipos da população de Upanema, mesmo possuindo as menores precipitações, foram capazes de estocar grande quantidade de água, apresentando o maior número médio de costelas. A estruturação do mandacaru pode variar dentro da própria espécie principalmente pelo número de costelas, que podem proporcionar sombreamento à própria planta, diminuindo a evapotranspiração, e/ou ser um depósito para o estoque de água para a planta. Dessa forma, sua quantidade é fortemente influenciada pelo grau de hidratação em que se encontra (CAVALCANTE et al., 2013).

Os resultados da presente pesquisa está de acordo com o relatado por Sales et al., (2014), em que a espessura, o comprimento e a altura do cladódio está relacionada ao grau de hidratação das plantas, que além dessas estratégias apresentam, ainda, alta relação volume/superfície, com células parenquimáticas especializadas em armazenar água e o desenvolvimento de grandes proporções de tecido parenquimático com células constituídas

por mucilagem, adaptações estas que também proporcionam grande resistência a secas prolongadas.

As características morfológicas observadas nesta pesquisa estão similares as descritas por Ferreira (2014) para *C. jamacaru*, onde observou-se que o tronco possui de quatro a seis costelas chanfradas, dois a quatro espinhos centrais, podendo medir de 8 a 20 centímetros de comprimento e de cinco a sete espinhos radiais de 1,5 centímetros de comprimento.

A compreensão do comportamento de indicadores morfológicos e estruturais das plantas proporcionam o conhecimento e a definição das épocas em que ocorrem as diversas fases fenológicas. A aplicação de análises de crescimento para aquisição de informações sobre as plantas, como entidade biológica, possibilita o manejo racional das espécies, a fim de que expressem o seu potencial de produção. Além disso, permite aferir o crescimento das plantas como um todo e a contribuição dos seus diferentes órgãos (PEREIRA, 2017).

Os frutos avaliados neste experimento apresentam formato (IFF) oblongo, segundo classificação de Lopes (1982). O PMF coletados neste estudo, foi superior à obtida por Bahia et al., (2010) que obteve peso médio de 89,4 g em frutos de mandacaru cultivados em Pernambuco, por Araújo (2016) com peso médio de 57,67 g em frutos cultivados na Paraíba, e por Santos Neto et al. (2019) em frutos coletados no sertão Alagoano com peso médio de 108,12 g. Em se tratando de frutos carnosos, ao atingirem a maturidade fisiológica, tendem a manter o teor de água elevado, e conseqüentemente seu peso, estabilizando-se ao se aproximarem dos estágios finais de maturação, como resultado do esforço de adaptação e persistência da espécie no estabelecimento em ambientes mais hostis (BARBOSA NETO, 2018).

Araújo (2016) relata que os diâmetros, os pesos e os percentuais de casca, polpa e semente de mandacaru tem muita variação pois não existe padronização do fruto, sendo um fator determinante da qualidade física. Ainda acrescenta que esses atributos são importantes nas operações de processamento, porque facilitam os cortes, descascamento ou mistura para produtos uniformes.

Os genótipos provenientes de Apodi, merecem destaque, pois apresentaram maior DTF e DLF entre os espécimes estudados. A maior pluviosidade no local desta população, permite que haja maior alongamento celular e conseqüentemente maior crescimento dos frutos, além disso, a maior umidade favorece a atividade fotossintética o que garante a produção de fotoassimilados e como consequência, há maior drenagem de carboidratos para o crescimento dos frutos. Santos et al. (2014) relatam que elevados valores de biomassa de frutos são um bom indicativo para uma futura inserção no mercado consumidor, corroborando

com Dias et al. (2011) quando relata que para comercialização *in natura* dos frutos, a massa média é uma característica importante, por ser os maiores frutos os mais atrativos para os consumidores.

Os frutos avaliados na presente pesquisa apresentavam coloração da casca semelhante a cor vermelha e polpa branca com sementes pretas. A cor é um atributo de grande importância para indústria de alimentos, visto que é uma variável de qualidade capaz de influenciar a aceitação de produtos alimentícios e refletir as condições sanitárias do produto (SANTOS et al., 2016). Neste aspecto observou-se que a casca dos frutos provenientes da população de Patu apresentou maior LCA e CCA (Tabela 5), tendo coloração mais nítida e intensa, sendo dessa forma mais atrativo para os seus dispersores.

Os frutos de mandacaru são doces e apresentam reduzida baixa acidez, dando a essa fruta um sabor suave e peculiar. Os genótipos provenientes da população de Upanema tiveram maiores médias de SST e RSA e menores valores para PH e ATT, indicando que os frutos provenientes dessa localidade apresentaram maior doçura.

Os valores de SST de mandacaru estão de acordo com os obtidos por Lima (2016), em frutos coletados no município de Mossoró-RN, e um pouco abaixo dos encontrados por Almeida et al., (2009) em frutos cultivados em Queimadas (PB) e Lagoa Seca (PB). Valores de sólidos solúveis elevados são desejáveis para o consumo *in natura* dos frutos, pois o sabor adocicado é uma das características desejáveis para a aceitação dos frutos pelo mercado consumidor.

Essa variável é fortemente influenciada pela disponibilidade hídrica do cultivo (LIMA, 2016), maior abundância de água ocasiona a diluição desses solutos, diminuindo a concentração deles. O excesso de água na planta pode prejudicar a qualidade dos frutos, por causar redução do teor de sólidos solúveis (CLEMENTE, 2010). Concordando com o observado na presente pesquisa em que os frutos provenientes da população de Upanema tiveram a menor precipitação acumulada e os maiores valores de SST.

O pH variou de 4,37 a 4,73, sendo considerados levemente ácidos de acordo com a classificação de Baruffaldi e Oliveira (1998). Os valores de pH dos frutos de mandacaru estão próximos aos obtidos por Nascimento et al., (2011), 4,4-4,93 em frutos colhidos respectivamente nos municípios de Altinho-PB e Soledade-PB, Melo et al., (2017), 4,87 em frutos colhidos nos municípios de Campina Grande-PB e Barra de Santa Rosa-PB, Silva et al., (2019), 4,57 em frutos coletados no município de Barro-CE.

A acidez titulável e pH estão de acordo com os valores obtidos por Melo et al., (2017) em frutos provenientes de dois municípios, no estado da Paraíba, Brasil. O pH variou de 4,37

a 4,73, sendo considerados frutos levemente ácidos de acordo com a classificação de Baruffaldi e Oliveira (1998).

O dendrograma obtido pelo agrupamento UPGMA, segrega majoritariamente os indivíduos com base em sua localização geográfica (Figura 2) o que pode ser corroborado pelos resultados da Figura 1, onde observa-se que para a maioria dos caracteres houve maiores variações dentro das populações.

O coeficiente de correlação cofenética (CCC) proposto por Sokal e Rohlf (1962) na presente pesquisa foi de 84,00%, o que segundo Mohammad e Prasanna (2003), é considerado alto, pois esse coeficiente mede a distorção provocada ao agrupar os acessos, sendo assim quanto maior CCC, maiores as chances do agrupamento está correto.

Os descritores morfológicos da planta e físico-químicos dos frutos (Tabela 6) utilizados neste estudo foram eficazes para observarmos a plasticidade fenotípica desta espécie, em função das intempéries ambientais a que estão submetidas, sendo os relacionados aos frutos os que mais contribuíram para a diversidade genética observada. Observamos o peso médio do fruto (71,88%), diâmetro longitudinal do fruto (8,04%), diâmetro do cladódio (4,04%), diâmetro transversal do fruto (2,93%), tonalidade de cor da casca (2,93%) e relação RSA (2,83%), cuja contribuição conjunta foi de 92,65%, enquanto os demais caracteres somaram apenas 7,35% da divergência genética.

De modo semelhante, Lima et al. (2013) estudando frutos de 21 acessos de duas espécies de pitaya (Cactaceae), obteve as maiores contribuições relativas para os caracteres diâmetro dos frutos (27,45%), seguido pela massa total de frutos (25,43%) e massa de polpa de frutas (24,67%), sendo as características mais importantes para caracterização desse germoplasma.

O estudo da diversidade genética dessas populações através de características fenotípicas, é uma ferramenta muito eficaz, pois estas sofrem ação direta das condições edafoclimáticas locais. Segundo Epifânio (2019), as características morfofisiológicas da planta representam um dado de grande importância para a compreensão das condições do ambiente de cultivo, que podem ser alteradas com a adequação de práticas de manejo ao longo do ciclo da cultura.

Caracterização molecular

Os iniciadores RAPD utilizados neste estudo garantiram polimorfismo médio de 72,21% (Tabela 7) entre os indivíduos de *C. jamaru*. Esses valores são superiores aos

encontrados por Oliveira et al., (2013) que obteve polimorfismo médio de 49,2%, utilizando marcadores RAPD e ISSR em 10 acessos de mandacaru provenientes do banco de germoplasma de Cactáceas da Embrapa Agroindústria Tropical, onde o número médio de amplificações foram de 7,0 e 5,5 por primer para RAPD e ISSR, respectivamente.

Os genótipos coletados em Apodi, apresentaram maior número de locos polimórficos e maior porcentagem de locos polimórficos (Tabela 8), apresentando uma maior diversidade genética quando comparada as variações dentro das demais populações. A População de mandacarus provenientes de Apodi consiste em mata nativa, onde não há praticamente visitação e/ou intervenção humana, diferente das outras populações estudadas onde os cladódios estavam localizados em área urbana de fácil acesso como as margens da BR-110, na População de Upanema e o Santuário do Lima, na População de Patu.

Neste sentido, segundo Fernandes (2013), as plântulas descendentes de locais na zona urbana, seguramente estruturadas pelo homem possuem menor variabilidade genética quando comparada a plântulas de populações naturais. Bevilaqua et al., (2015) atribui a diversidade de plântulas de *Cereus jamacaru* a forma de propagação dessas plantas, sendo as propagadas por sementes (propagação sexuada) as de maior variabilidade genética, e as propagadas de modo assexual as de menor variabilidade.

As populações estudadas apresentaram baixa diversidade genética interpopulacional (Tabela 9), e valores consideráveis de fluxo gênico. A similaridade genética encontrada entre populações está associada ao potencial dos dispersores, pássaros e morcegos são os principais dispersores do mandacaru (GOMES et al., 2014), e geralmente podem percorrer grandes distâncias o que contribui para que a similaridade genética de populações diferentes sejam mantidas, garantindo o fluxo gênico entre as populações.

Plantas dentro de cada região, compartilham proporção semelhante de genoma ancestral (efeito fundador), por outro lado, as plantas de mandacaru que apresentam diversidade gen mica acentuada, podem ser resultados de adaptações ao clima seco e a escassez de chuvas na região semiárida do Nordeste do Brasil.

O dendrograma obtido pelo método UPGMA, mostra que mesmo sendo de localidades diferentes os genótipos compartilham informações genéticas que os coloca num mesmo grupo, estando no grupo 3 a grande maioria dos genótipos (93,33%), (Figura 3), o que pode ser corroborado pela AMOVA (Tabela 10), que ressalta as variações genéticas intrapopulacionais como detentoras da maior diversidade genética. Os genótipos que se encontram em mesmo grupo têm uma maior aproximação genotípica, dessa forma quanto mais grupos forem

necessários para agrupar os indivíduos de uma mesma população, maior será a diversidade genética.

O coeficiente de correlação cofenética (CCC) (SOKAL; ROHLF, 1962) obtido foi de 0,95, considerado alto (MOHAMMAD; PRASANNA 2003), quanto maior CCC, menor será a distorção provocada ao agrupar os genótipos. O entendimento da estrutura genética dessas espécies de cactos é importante, e pode levar a diferentes estratégias para a cultivo e manutenção desses genomas que podem apresentar diferentes potenciais de aplicação (FERNANDES et al., 2016).

Portanto, a diversidade encontrada é uma promessa para uso e preservação da biodiversidade do genoma do mandacaru. Esses resultados são importantes para aumentar a informação genética dessas plantas, que possuem características de interesse em relação às aplicações biotecnológicas e à preservação de sua biodiversidade (BEVILAQUA et al., 2015).

CONCLUSÕES

O semiárido Brasileiro possui indivíduos de *C. jamacaru* com frutos que tem boas características de qualidade para uso em programas de melhoramento. Os frutos provenientes da população de Apodi-RN são maiores. Os frutos coletados em Patu-RN exibiram coloração de casca mais intensa. Os frutos colhidos na população de Upanema apresentaram maior doçura. Existe diversidade genética entre e dentro das populações de *C. jamacaru* estudadas. O descritor de maior importância para a divergência fenotípica foi o peso médio dos frutos.

Foi observado alto polimorfismo entre os genótipos estudados, ressaltando que os marcadores RAPD são eficientes para estudos de diversidade genética de *C. jamacaru*. Os genótipos também apresentaram elevada diversidade fenotípica, o que mostra que os caracteres morfológicos da planta e físico-químico dos frutos estão sofrendo plasticidade de acordo com as características ambientais a que estão expostas.

Os genótipos AP-06 e UP-01 por apresentarem maior distância genética, podem ser utilizados em futuros cruzamentos que visem o melhoramento genético da espécie.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. V. B.; SOUZA, J. T. A.; BATISTA, M. C. Melhoramento genético de plantas forrageiras xerófilas: Revisão. **Pubvet**, v.13, n.8, p.1-11, 2019.

ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; FREIRE, R. M. M.; VALENÇA, A. R. Caracterização física e físico-química de frutos de mandacaru. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.11, n.1, p.15-20, 2009.

ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ARAÚJO, I. N. S. **Biometria de frutos do mandacaru (*Cereus jamacaru*) plantados em áreas degradadas no Seridó paraibano**. Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Picuí, 2016, 36 f.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17 ed. Washington: AOAC, 2002, 1115 p.

BAHIA, E. V.; MORAIS, L. R. V.; SILVA, M. P.; LIMA, O. B. V.; SANTOS, S. F **Estudo das características físico-químicas do fruto do Mandacaru (*Cereus jamacaru* P.DC.) cultivado no Sertão Pernambucano**. Anais do VIII SEMEALI. UEFS. Feira de Santana, 2010.

BARBOSA NETO, M. A. **Maturção de frutos e salinidade na qualidade fisiológica de sementes de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.)**. Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2018, 73f.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998, v. 3, p. 13-25.

BEVILAQUA, M. R. R.; SANTANA FILHO, A. P.; MANGOLIN, C. A.; OLIVEIRA, A. J.B; MACHADO, M. F. P. S. Genetic and chemical diversity in seeds of cactus mandacaru (*Cereus* sp.) from two edaphoclimatic regions contrasting. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 87, n. 2, p. 765-776, 2015.

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

CAVALCANTE. A.; TELES. M.; MACHADO, M. **Cactos do semiárido do Brasil**.
Campina Grande: INSA, 2013, 53 p.

CLEMENTE, F. M. V. T. **Influência dos fatores climáticos na produtividade e no teor de sólidos solúveis de híbridos do tomateiro para o processamento industrial no Estado de Goiás**. Univeridade Federal de Goiás, 2010, 93f.

CRUZ, C. D. Genes Software-extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

DIAS, A. B.; CARVALHO, M. A. P.; DANTAS, A. C. V. L.; FONSECA, V. J. A.
Variabilidade e caracterização de frutos de pitangueiras em municípios baianos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1169-1177, 2011.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE.
Meteorologia. Disponível em: < <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/> > Acesso em 20 dez. 2019.

EPIFÂNIO, N. M. L. S. **Descritores morfológicos e indicador de metabolismo fotossintético em clones de Palma forrageira**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019, 84 f.

FERNANDES, V. N. A. **Estrutura genética de amostras de mandacaru usando locos heterólogos de microssatélites**. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013, 87f.

FERNANDES, V. N. A.; NEVES, A. F.; MARTIN, P. G.; MANGOLIN, C. A.;
MACHADO, M. F. P. S. Genetic structure and molecular divergence among samples of mandacaru (*Cereus* spp.; Cactaceae) as revealed by microsatellite markers. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 64, p. 38-45, 2016.

FERREIRA, C. **Dinâmica do microbioma da rizosfera de mandacaru na Caatinga**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014, 88 f.

FIDELIS, V. R. L. PEREIRA, E. M.; SILVA, W. P. S.; GOMES, J. P.; SILVA, L. A. Produção de sorvetes e iogurtes a partir dos frutos figo da índia e mandacaru. **Revista Verde**, v. 10, n. 4, p. 17-21, 2015.

GOMES, V. G. N.; QUIRINO, Z. G. M.; ARAUJO, H. F. P. Frugivory and seed dispersal by birds in *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) in the Caatinga of Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 1, p. 32-40, 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4^a ed. São Paulo, v. 1, 2005, 533p.

KIMURA M.; CROW, J. The number of alleles that can be maintained in a finite population. **Genetics**, v.49, n.4, p. 725– 738, 1964. 2014.

LEWONTIN, R. C. A repartição da diversidade humana. In: **Biologia evolutiva**. Springer, Nova Iorque, NY, 1972. p. 381-398.

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. Diversidade genética intra e interespecífica de pitaya com base nas características físico-químicas de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1066-1072, 2013.

LIMA, R. K. B. **Caracterização e potencial antioxidante do fruto da palma (*Tacinga inamoena*) e do mandacaru (*Cereus jamacaru*)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016, 62f.

LOPES, J. F. Melhoramento genético (chuchu, melancia, melão e pepino). **Informe Agropecuário**, v. 8, p. 61-65, 1982.

MDITSHWA, A.; FAWOLE, O. A.; AL-SAID, F.; AL-YAHYAI, R.; OPARA, U. L. Phytochemical content, antioxidant capacity and physicochemical properties of pomegranate

grown in different microclimates in South Africa. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 30, n. 2, 2013.

MELO, R. S.; SILVA, S. M.; SOUSA, A. S. B.; LIMA, R. P.; DANTAS, A. L.; DANTAS, R. L.; FIGUEIREDO, V. M. A. Maturação e qualidade de frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) de diferentes bioclimas do estado da Paraíba. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 160-168, 2017.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, v. 31, p. 426-438, 1959.

MINOLTA CORP. **Precise Color Communication: Color Control from Feeling to Instrumentation**. Osaka: MINOLTA Corp. Ltda., 2007.

MOHAMMAD, S. A.; PRASANNA, B. M. Analysis of genetic diversity in crop plants- Salient statistical tools and considerations. **Crop Science**, Madison, v.43, p.1235-1248, 2003.

MOJENA, R. **An Approach to the problem of evaluation in multivariate classification**. 1972.

NASCIMENTO, V. T.; MOURA, N. P.; VASCONCELOS, M. A. S.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. P. A. Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 2112–2119, 2011.

NEI, M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. **Genetics**, v. 89, n.3, p.583–590, 1978.

OLIVEIRA, F. I. C.; BORDALLO, P. N.; CASTRO, A. C. R.; CORREIA, D. Genetic diversity of spineless *Cereus jamacaru* accessions using morphological and molecular markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 4586-4594, 2013.

PASSOS, M. A. B. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) ocorrentes em Roraima. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 5, n. 14, p. 388-404, 2019.

PEAKALL, R.; SMOUSE, P.E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. **Bioinformatics**, v. 28, n. 19, p. 2537–2539, 2012.

PEREIRA, P. C. **Processos e padrões de transferência de energia e da disponibilidade hídrica para a palma forrageira**. Universidade Federal de Viçosa, 2017, 93f.

PINHEIRO, J; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. R Core Team. 2019. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-141. **Available at h Ttp://CRAN. R-Project. Org/Package= Nlme**, 2019.

ROCHA, Y. M.; FARIAS, H. N. S.; BARROS, G. G. M.; LOURENÇO, E. W. R.; PEREIRA, C. P.; BEZERRA, A. N. Plantas alimentícias não convencionais (PANCs) utilizadas por comunidades indígenas e tradicionais brasileiras. In: **Conexão FAMETRO: Inovação e criatividade**, Fortaleza, 2018.

ROLDÀN-RUIZ, I.; Calsyn, E.; Gilliland, T. J.; Coll, R.; Van Eijk, M. J. T.; De Loose, M. Estimating genetic conformity between related ryegrass (*Lolium*) varieties. 2. AFLP characterization. **Molecular Breeding**, v. 6, n. 6, p. 593-602, 2000.

SALES, M. S. L.; MARTINS, L. V.; SOUZA, I.; DEUS, M. S. M.; PERON, A. P. *Cereus jamacaru* de Candolle (Cactaceae), o mandacaru do nordeste brasileiro. *Ciência Biologia e Saúde*, v. 20, n. 2, p. 135-142, 2014.

SANTOS NETO, J. P.; SILVA, V. D. N.; SILVA, P. A.; SANTOS, Y. M. P.; MONTEIRO, P. H. S.; SILVA, L. A. S. G. Características Físico-Químicas de Frutos de Mandacaru (*Cereus Jamacaru* P. DC.) Cultivados no Sertão Alagoano. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p.e7741-, 2019.

SANTOS, J. E. A.; FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização físico-química dos frutos das espécies de *Opuntia ficus indica* e *Opuntia*

stricta. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC’2016** 29 de agosto a 2 de setembro de 2016, Foz do Iguaçu, Brasil.

SANTOS, M. A. C; QUEIROZ, A. M.; SANTOS, A. S.; SANTOS, L. C.; CARNEIRO, P. C. S. **Diversidade genética entre acessos de araçá de diferentes municípios do semiárido baiano**. Revista Caatinga, v. 27, n. 2, p. 48-57, 2014.

SILVA, I. R. B. **Uso e exploração do mandacaru na visão de assentados da reforma agrária, no município de Sumé-PB**. Universidade Federal de Campina Grande, 2017, 57f.

SILVA, S. R.; ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; MACHADO, M. (org.) **Plano de ação nacional para conservação das Cactáceas**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2011, 113p.

SILVA, F. C. **Manual de Análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 1997. 627 p. (Ed. Técnico).

SINGH, D. **A importância relativa dos caracteres que afetam a divergência genética**. 1981.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. The comparison of dendograms by objective methods. **Taxonomy**, Berlim, v.11, p.33-40, 1962.

YEH, F. C.; BOYLE, T.; RONGCAI, Y.; YE, Z.; XIAN, J. M. 1999. **POPGENE v.3.2**. A Microsoft window based freeware for population genetic analysis. University of Alberta, Edmonton.

YEMN, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-514, 1954.

CAPÍTULO III

COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM FRUTOS DE *Cereus jamacaru* (CACTACEAE) ENTRE E DENTRO DE POPULAÇÕES DO SEMIÁRIDO

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar frutos de *Cereus jamacaru* DC., coletados em diferentes locais, quanto ao conteúdo de compostos bioativos e atividade antioxidante e, ainda estudar a diversidade genética entre e dentro das populações para essas características. Para isso foram coletados frutos de *C. jamacaru* em três municípios, Apodi, Patu, e Upanema, todos localizados no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Foram quantificados os teores de vitamina C, flavonoides amarelos, betacianinas, betaxantinas, polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH. Os frutos de *C. jamacaru* pode ser considerado uma fonte de vitamina C, flavonoides amarelos, compostos fenólicos, betacianinas e betaxantinas. As maiores variações interpopulacionais foram para os caracteres vitamina C, flavonoides amarelos, betacianinas, betaxantinas e atividade antioxidante pelo DPPH. Enquanto, as diferenças intrapopulacionais mais evidentes foi para polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante pelo método ABTS. Os genótipos provenientes de Patu tem maiores teores de compostos bioativos e atividade antioxidante, sendo também essa população a que teve maior diversidade genética.

Palavras-chaves: Mandacaru, Caatinga, Diversidade genética, Betaláinas.

ABSTRACT

The present work aims to characterize *Cereus jamacaru* DC. fruits collected in different places, with regard to the content of bioactive compounds and antioxidant activity and, also to study the genetic diversity among and within populations for these characteristics. For this, the fruits of *C. jamacaru* were collected in three cities located in the State of Rio Grande do Norte (RN), Brazil, they are: Apodi, Patú and Upanema. The levels of vitamin C, yellow flavonoids, betacyanins, betaxanthines, total extractable polyphenols and antioxidant activity were quantified by ABTS and DPPH methods. The fruits of *C. jamacaru* can be considered a source of vitamin C, yellow flavonoids, phenolic compounds, betacyanins and betaxanthins. The greatest interpopulation variations were for the characters vitamin C,

yellow flavonoids, betacyanins, betaxanthins and antioxidant activity by DPPH. On the other hand, the most evident intra-population differences were for total extractable polyphenols and antioxidant activity by the ABTS method. Genotypes from Patú-RN have higher levels of bioactive compounds and antioxidant activity, and greater genetic diversity.

Keywords: *Mandacaru. Caatinga. Genetic Diversity. Betalains.*

INTRODUÇÃO

O mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), pertencente à família Cactaceae é nativo do Brasil e está distribuído no nordeste do Brasil, nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Bahia, Sergipe e Minas Gerais (BARBOSA NETO, 2018). É utilizada na medicina popular para cura de inflamações uterinas, gripes, expectorações, cicatrizações e como antisséptico (CARTAXO et al., 2010). Ainda é considerada uma rica fonte de celulose, hemicelulose, pectina e outros constituintes químicos. Essas macromoléculas podem ter várias aplicações, tais como matéria-prima para a produção de fibra dietética, pectina industrial, bioadesivos, biopolímero, etanol, biogás e nanocristais de celulose (OLIVEIRA et al., 2013; BEVILAQUA et al., 2015; SANTOS et al., 2020).

Esta espécie é muito importante para a região nordestina do Brasil, principalmente durante o longo período de estiagem, que ocorre no segundo semestre do ano, servindo como recurso forrageiro estratégico na composição das dietas dos ruminantes e atendendo parte do requerimento de água destes animais. Também é parte da dieta de famílias carentes, que consomem o cladódio cozido ou *in natura* fazendo parte das PANC, plantas alimentícias não convencionais (PASSOS, 2019; ROCHA et al., 2018).

Os frutos de mandacaru apresentam teores consideráveis de vitamina C (SILVA; ALVES, 2009), polifenóis extraíveis totais, betacianinas e betaxantinas (NASCIMENTO et al., 2011). Esses compostos fazem parte dos compostos bioativos, que agem capturando os radicais livres que estão no nosso corpo e dessa forma contribuem para a manutenção da integridade de nossas moléculas, o que se reflete em um menor índice de doenças coronárias, cânceres e a um menor envelhecimento celular.

No entanto, muitos fatores podem interferir na qualidade dos frutos, sejam eles intrínsecos, referentes a cultivar e a espécie, ou extrínsecos, referentes ao local de ocorrências, como salinidade, sodicidade, deficiência hídrica e/ou as práticas culturais, quando se trata de espécies cultivadas (MDITSHWA et al., 2013).

Apesar do potencial alimentar dos frutos de *C. jamacaru*, essa espécie é subutilizada, devido à falta de conhecimento das propriedades nutricionais dos seus frutos, negligenciando na melhoria da nutrição alimentar da população carente dessa região. Para mudar esse quadro, o estudo das propriedades nutricionais dos frutos dessa espécie é necessário. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar frutos de *C. jamacaru*, coletados em diferentes locais, quanto ao conteúdo de compostos bioativos e atividade antioxidante e, ainda estudar a diversidade genética entre e dentro das populações para essas características.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo do material vegetal

Para a caracterização genética foram coletados e georreferenciados 10 genótipos (tabela 1) para a população de *C. jamacaru* nos municípios de Apodi, Patu, e Upanema, todos localizados no Estado do Rio Grande do Norte, na mesorregião Oeste Potiguar.

Em cada localidade da população de mandacaru estudada foram obtidas 10 amostras de solo em ziguezague, da camada superficial (0-20 cm) com auxílio de trado e homogeneizadas no próprio local de coleta, a fim de se obter uma amostra composta. Em seguida as amostras compostas foram levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo e analisadas quanto ao pH (potencial hidrogeniônico), a CE (condutividade elétrica), o teor de K (potássio), Ca (cálcio) e Na (sódio), segundo metodologia de Silva (1997).

Também foram coletadas as médias anuais de precipitação e temperatura do período correspondente a outubro de 2016 a dezembro de 2017 de cada localidade do banco de dados da EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte) conforme exposto

na **Tabela 1.** Descrição da localização dos genótipos de *Cereus jamacaru*. UFERSA, Mossoró/RN, 2020. Tabela 2.

Genótipo	Município	Georreferenciamento
AP-01	Apodi-RN	5° 39'564"S/37° 50'807"W
AP-02	Apodi-RN	5° 39'562"S/37° 50'807"W
AP-03	Apodi-RN	5° 39'552"S/37° 50'806"W
AP-04	Apodi-RN	5° 39'546"S/37° 50'805"W
AP-05	Apodi-RN	5° 39'537"S/37° 50'807"W
AP-06	Apodi-RN	5° 39'533"S/37° 50'807"W
AP-07	Apodi-RN	5° 39'510"S/37° 50'810"W
AP-08	Apodi-RN	5° 39'437"S/37° 50'855"W
AP-09	Apodi-RN	5° 39'421"S/37° 50'856"W
AP-10	Apodi-RN	5° 39'421"S/37° 50'857"W
PT-01	Patu-RN	6° 8'243"S/37° 38'703"W
PT-02	Patu-RN	6° 8'231"S/37° 38'701"W
PT-03	Patu-RN	6° 8'233"S/37° 38'669"W
PT-04	Patu-RN	6° 8'244"S/37° 38'643"W
PT-05	Patu-RN	6° 8'241"S/37° 38'641"W
PT-06	Patu-RN	6° 8'227"S/37° 38'640"W
PT-07	Patu-RN	6° 8'226"S/37° 38'640"W
PT-08	Patu-RN	6° 8'224"S/37° 38'640"W
PT-09	Patu-RN	6° 8'223"S/37° 38'640"W
PT-10	Patu-RN	6° 8'221"S/37° 38'640"W
UP-01	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'828"W
UP-02	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'829"W
UP-03	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'830"W
UP-04	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'831"W

UP-05	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'832"W
UP-06	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'833"W
UP-07	Upanema-RN	5° 37'967"S/37° 15'834"W
UP-08	Upanema-RN	5° 37'966"S/37° 15'836"W
UP-09	Upanema-RN	5° 37'967"S/37° 15'839"W
UP-10	Upanema-RN	5° 37'967"S/37° 15'841"W

Três frutos de cada planta, em cada município, foram coletados manualmente no estágio de maturação descrito como IPV (início da pigmentação vermelha), que consiste na mudança da coloração da casca da cor verde para a vermelha, conforme evolução de maturação descrita por Melo et al., (2017). A escolha dos frutos neste estágio se deu, devido ao fato dos frutos totalmente vermelhos estarem já abertos ou predados por animais. Logo após a colheita os frutos foram acondicionados em *cooler* térmico com gelo até chegar ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita. Em seguida os frutos foram cortados longitudinalmente e suas polpas foram processadas em liquidificador doméstico, até completa homogeneização, posteriormente foram acondicionados em potes escuros de plástico, tipo coletor universal, sendo identificada a localidade e a planta a que pertenciam, e acondicionado em freezer até a realização das análises.

Tabela 2. Média anual de precipitação*, temperatura, altitude e características físico-química do solo** das populações estudadas.

População	P	T	A	pH	CE	K	Ca	Na
	(mm)	(°C)	(m)		dS/m		(mmolc/dm ³)	
Apodi-RN	45,25	35,70	61,90	5,57	0,23	4,40	1,40	0,50
Patú-RN	38,05	35,22	433,80	4,77	5,45	5,85	2,95	4,45
Upanema-RN	35,38	35,55	24,00	6,55	0,28	3,45	1,45	0,60

Precipitação (P), Temperatura (T), Altitude (A), potencial hidrogeniônico (pH), Condutividade elétrica (CE), Potássio (K), Calcio (Ca) e Sódio (Na). Fonte: *EMPARN, 2020, médias anuais de precipitação de outubro de 2016 a dezembro de 2017, **as análises foram realizadas na camada superficial do solo de 0-20 cm, conforme metodologia de Silva (1997).

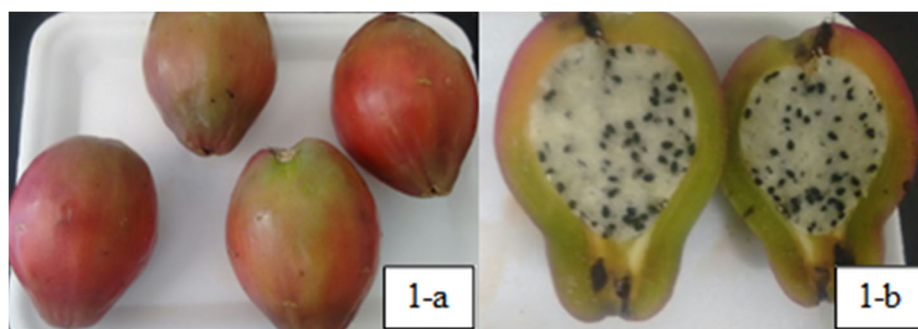


Figura 1. Frutos de Mandacaru (*Cereus jamacaru*) provenientes de diferentes populações do semiárido potiguar, Brasil. 1-a: frutos intactos no início da pigmentação vermelha; 1-b: frutos cortados longitudinalmente. Fonte: Autores, (2017).

Quantificação dos compostos bioativos e da atividade antioxidante

Os flavonoides amarelos (FA) foram determinados segundo Francis (1982), a partir de 1,0 g da polpa processada. Para cálculo da concentração de FA foi utilizado a equação: $\frac{Abs\ 374 * FD}{76,6}$, onde Abs 374 corresponde a absorbância obtida no comprimento de onda de 374 nm, FD fator de diluição.

A determinação de betalaínas seguiu o método de Stintzing et al. (2002), onde 4,0 g da polpa processada foi filtrada em tecido organza, para retirada de partículas maiores. Em seguida o volume obtido foi medido com auxílio de uma proveta, para posterior leitura da absorbância. Fez-se diluição da polpa processada em tampão citrato-fosfato 0,05M pH 6,5 para que as leituras de absorbância a 538 nm e 480 nm, para betacianina (BTC) e betaxantina (BTX), respectivamente, até que estas estivessem entre $0,8 < A < 1,0$. Em seguida para obtenção dos valores de betacianinas e betaxantinas, utilizou-se a equação: $\frac{Abs\ 480\ ou\ 538 * DF * M * 100}{\epsilon * L}$, onde Abs é a absorbância no comprimento de onda de 480 ou 538 nm, DF fator de diluição, M massa molar e L largura da cubeta em cm. Para determinação de BTC considerou-se absorvidade (ϵ) = 60.000 L/mol cm em H₂O; M=550 g/mol e BTX ϵ = 48.000 L/mol cm em H₂O; M=308 g/mol, fornecidos em Schwartz; Von Elbe (1980) e Trezzini; Zryd (1991).

Os polifenóis extraíveis totais (POL) foram determinados através do reagente Folin-Ciocalteu, utilizando-se o ácido gálico como padrão, segundo metodologia descrita por Larrauri et al., (1997). Para obtenção do extrato foram utilizados 17,5 g da amostra, submetidos à extração por dois solventes, metanol (50%) e acetona (70%). A leitura foi realizada em espectrofotômetro, usando a curva padrão de ácido gálico e os resultados foram expressos em mg de ácido gálico (100 g)⁻¹.

A atividade antioxidante foi determinada pelos métodos ABTS e DPPH. No método ABTS conforme Sánchez-Moreno et al. (1998) e o método DPPH como descrito por Brandwilliams et al., (1995) e modificado por Sánchez-Moreno et al., (1998) para medir os parâmetros cinéticos. A determinação de compostos antioxidantes em frutas e hortaliças é feita por diversos métodos. O método do DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazil) é um radical orgânico que, na presença de um antioxidante, na medida em que é capturado produz um

decréscimo da absorvância a 515 nm (BRAND-WILLIAMS et al., 1995). O teor de vitamina C (VC) foi obtido conforme metodologia proposta por Strohecker e Henning (1967), utilizando 1,0 g da polpa processada no dia da colheita e diluída em água em balão de 100 mL.

Análises estatísticas

Realizou a análise de variância uni e multivariada com aplicação dos testes F de Snedecor e o critério de Wilks, respectivamente. As médias das populações foram comparadas entre si pelo teste t. Todas as análises foram realizadas utilizando um nível nominal de significância de 5% de probabilidade.

A matriz de distâncias entre os indivíduos foi estimada pela distância euclidiana padronizada ($\sim Z$, $\mu = 0$, $\sigma = 1$). O dendrograma foi construído pelo método hierárquico UPGMA (Unweighted Pair-Group Method Analysis) e utilizou-se a correlação cofenética para verificar a qualidade de agrupamento utilizando os pacotes PheatMap e Biotools do software R (PINHEIRO et al., 2019). Utilizou-se o método K Means para agrupar os indivíduos da população e estimou-se as correlações de Pearson entre os caracteres.

Todas essas análises foram realizadas pelo programa R, utilizando os pacotes Exp.Des.Pt e PheatMap.

RESULTADOS

Observou-se efeito entre populações ($p < 0,01$) na maioria dos caracteres avaliados (Tabela 3), com exceção dos polifenóis extraíveis totais (POL) e da atividade antioxidante total pelo método DPPH. Considerando todos os caracteres estudados ao mesmo tempo, verificou-se diferenças entre os genótipos ($F_{Wilks} = 20,99$, $p < 0,001$). A população de Patu teve a maior média para todos os caracteres, embora não tenha diferido da população de Upanema para a ABTS. As populações de Apodi e Upanema não diferiram para os caracteres FLA, BTC e BTX.

A variância entre as populações foi maior para os caracteres flavonoides amarelos (FLA), betaxantina (BTX), betacianinas (BTC), vitamina c (VIC) e atividade antioxidante total pelo método ABTS (ABTS), indicando que a maior parte da variação total está entre as populações estudadas para os referidos caracteres (Tabela 3). Para os demais caracteres a variância dentro das populações foi superior.

Tabela 3. Estimativas de F de Snedecor, variâncias entre e dentro e de médias de sete caracteres relacionados à atividade antioxidante de frutos avaliados em três populações de *Cereus jamacaru*. Mossoró-RN, 2020.

População	VIC	FLA	BTC	BTX	POL	ABTS	DPPH
Apodi	40,89 c	0,38 b	9,48 b	7,06 b	12,25 a	1,45 b	2660,46 a
Patú	81,50 a	1,16 a	40,33 a	30,49 a	13,01 a	3,20 a	1760,05 a
Upanema	58,06 b	0,32 b	13,39 b	9,94 b	12,48 a	2,63 a	2040,49 a
F	20,99**	29,53**	27,86**	28,23**	0,04 ^{ns}	5,51**	1,49 ^{ns}
$\hat{\sigma}_{pop}^2$	395,76	0,19	272,02	157,51	0,03	0,66	395,76
$\hat{\sigma}_d^2$	197,89	0,07	101,26	57,85	41,78	1,41	197,89
CV(%)	23,39	43,83	47,77	48,05	51,38	49,14	55,36

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t ($p > 0,05$). $F(\text{Wilks}) = 20,99^{**}$. VIC: Vitamina C; FLA: Flavonoides amarelos; BTC: Betacianina; BTX: Betaxantina; PET: Polifenóis extraíveis totais; ABTS: Atividade antioxidante total pelo método ABTS; DPPH: Atividade antioxidante total pelo método DPPH.

A análise de agrupamento pelo método UPGMA a partir da distância euclidiana padronizada reuniu as amostras das três populações em quatro grupos (Figura 2). O primeiro grupo formado por todos os genótipos de Apodi e Upanema, e pelos genótipos PT-02 e PT-09 provenientes de Patú. Os indivíduos do primeiro grupo têm, em sua grande maioria, valores superiores para DPPH, ou seja, menor atividade antioxidante, e menores valores para VIC (Figura 1).

O segundo grupo formado, corresponde ao genótipo proveniente de Patu, PT-10, esse indivíduo merece destaque por apresentar teores elevados de POL e ABTS (maior atividade antioxidante). O terceiro grupo alocou os indivíduos PT-03 e PT-04, coletados em Patu, esse grupo merece destaque por apresentar valores significativos de VIC. O quarto grupo correspondeu aos demais genótipos provenientes de Patu, apresentando em geral elevados valores de FLA, BTX e BTC.

A estimativa da correlação cofenética ($r = 0,84^{**}$) indicou que as matrizes de distâncias original e final são semelhantes, que há pouca perda de informações quando se processou a hierarquização dos indivíduos em grupos, evidenciando a confiabilidade do método utilizado (UPGMA).

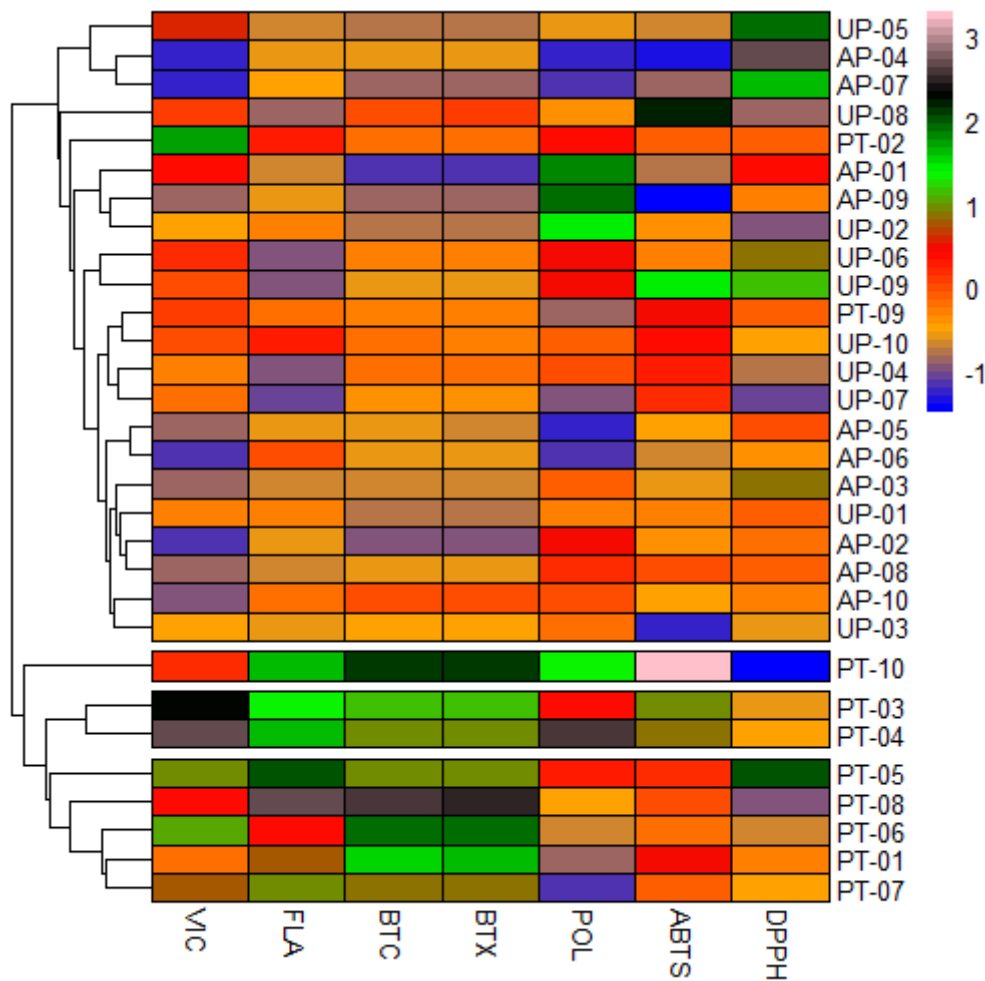


Figura 2. Dendrograma de indivíduos de três populações de *Cereus jamacaru* gerado pelo método UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas padronizadas obtida em oito caracteres do fruto. ($r = 0,84^{**}$). VIC: Vitamina C; FLAV: Flavonoides amarelos; BTC: Betacianina; BTX: Betaxantina; POL: Polifenóis extraíveis totais; ABTS: Atividade antioxidante total pelo método ABTS; DPPH: Atividade antioxidante total pelo método DPPH. Mossoró-RN, 2020.

Na análise de componentes principais, os dois primeiros componentes (CP1 e CP2) principais explicaram, respectivamente, 53,0% e 17,3% da variação total, perfazendo aproximadamente 70% da variação total (Figura 3a). Resultado que indica que o método foi adequado para discriminar os genótipos nos grupos formados.

As variáveis com maior contribuição para o primeiro componente principal foram BTC (24,50%), BTX (24,00%) e FLA (21,00%) (Figura 3b). No segundo componente principal, as variáveis de maior contribuição foi POL (18,0%) (Figura 3c). Com relação às estimativas de correlação entre as variáveis, verificou-se que os caracteres BTC e BTX apresentaram elevada correlação (1,0), e que esses se correlacionam positivamente com FLA (0,80**), VIC (0,50**) e ABTS (0,50**) (Figura 3d). O caráter VIC mostrou correlação positiva

com as variáveis FLA (0,60**) e ABTS (0,40*). Os caracteres ABTS, BTC e BTX se correlacionaram negativamente com a variável DPPH. Constatando que o aumento nos valores dos compostos bioativos (BTC e BTX) aumentou a atividade antioxidante, pois quanto menor os valores de DPPH, maior atividade antioxidante. Enquanto os valores de ABTS elevado indica alta atividade antioxidante.

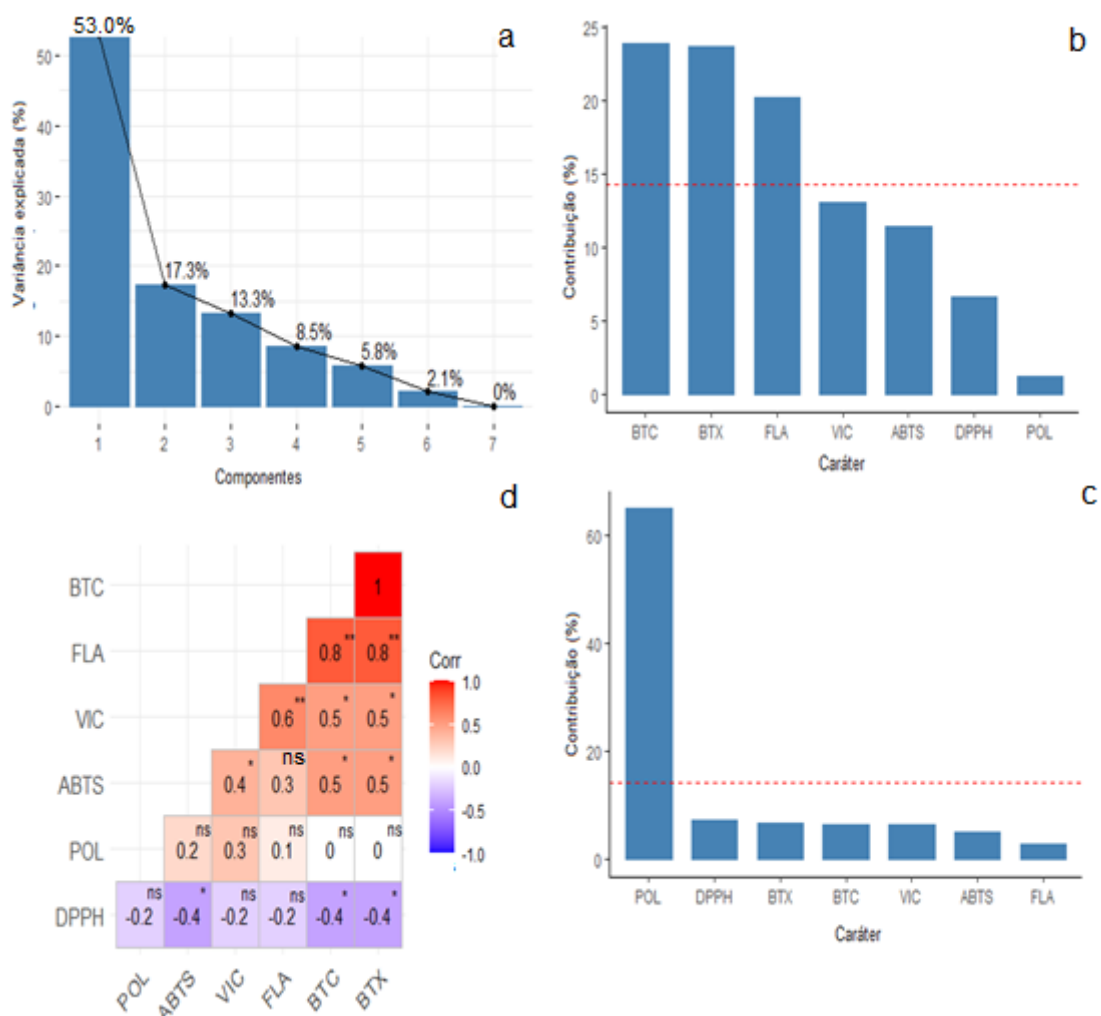


Figura 3. Variância explicada, contribuição para os dois primeiros componentes principais e correlação entre sete caracteres relacionados à atividade antioxidante de frutos avaliados em três populações de *Cereus jamacaru*. Mossoró-RN, 2020.

Na análise de componentes principais e K-mens foram formados quatro grupos de indivíduos (Figura 4). O primeiro grupo foi composto pelos genótipos, PT-01, PT-05, PT-06, PT-07 e PT-08, provenientes de Patu, que estão associados por apresentarem altos valores de FLA, BTX e BTC, variáveis correlacionadas com o primeiro componente principal. No segundo grupo estão 80% dos genótipos de Apodi, 90% dos genótipos provenientes de Upanema e 20% dos genótipos de Patu, que foram relacionados por apresentarem valores

superiores para POL e baixos teores dos demais caracteres, correlacionados com o segundo componente principal. No terceiro grupo estão os indivíduos AP-04 e AP-07 (provenientes de Apodi), e UP-05 (provenientes de Upanema), que apresentam superiores para DPPH, sendo mais correlacionado com o componente principal dois. O quarto grupo correspondeu aos genótipos PT-03, PT-04 e PT-10, que em linhas gerais possui valores significativos de ABTS e VIC, correlacionando-se com o primeiro componente principal.

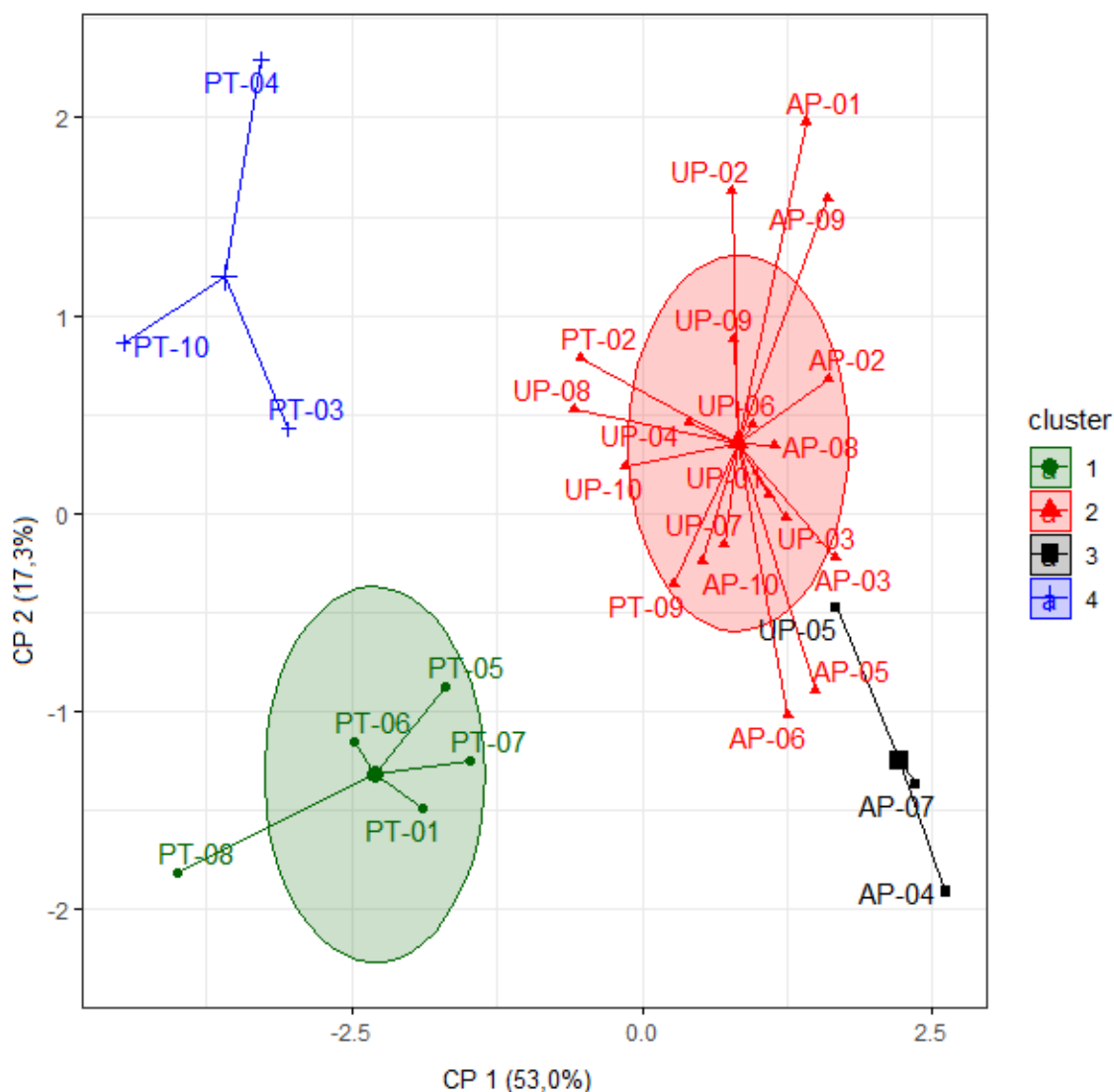


Figura 4. Grupos de indivíduos de três populações de *Cereus jamacaru* formados pelo método K-Means. Mossoró-RN, 2020. VIC: Vitamina C; FLAV: Flavonoides amarelos; BTC: Betacianina; BTX: Betaxantina; PET: Polifenóis extraíveis totais; ABTS: Atividade antioxidante total pelo método ABTS; DPPH: Atividade antioxidante total pelo método DPPH.

DISCUSSÃO

Os resultados mostram que há diversidade genética entre os indivíduos estudados, sendo evidenciadas pelas diferenças significativas observadas para os caracteres, VIC, FLA, BTC, BTX e ABTS (Tabela 3). Altos valores de σ_{pop}^2 indicam que para as variáveis VIC, FLA, BTC, BTX, DPPH as maiores variações foram interpopulacionais. Em contrapartida valores altos de σ_a^2 , para os caracteres POL e ABTS indicam que a maioria das variações ocorreram a nível intrapopulacional. Os genótipos provenientes de Patú obtiveram teores superiores em todos os caracteres estudados, embora não tenha diferido dos genótipos oriundos de Upanema para a variável ABTS, e das demais populações para a variável POL e DPPH.

A maior diversidade genética foi observada entre os genótipos oriundos de Patu (Figura 2), sendo alocados genótipos em todos os grupos formados. Foi CCC (coeficiente de correlação cofenética) proposto por Sokal e Rohlf (1962), nesse estudo foi de 84,00%, o que segundo Mohammad e Prasanna (2003), é considerado alto, indicando que os genótipos foram segregados de modo preciso.

Os valores de vitamina C, variaram de 81,50 (Patu) a 40,89 mg/100g (Apodi). Altos valores de vitamina C em genótipos da população de Patu, são resultado da ativação do metabolismo secundário dessas plantas, para tentarem sobreviver mesmo em condição de sodicidade e salinidade, pois o ácido ascórbico é um forte antioxidante e age doando elétrons para que não haja comprometimento e desestruturação de moléculas e/ou estruturas. Em condições adversas as plantas ativam enzimas e antioxidantes não enzimáticos do seu sistema de defesa para impedirem danos severos a suas moléculas e estruturas. Entre os antioxidantes não enzimáticos podemos citar o ácido ascórbico (SOUZA et al., 2020).

O teor de vitamina C nos frutos de mandacaru do presente trabalho foi superior aos reportados por Lima, (2016), 10,83 mg/100g, em frutos oriundos de Mossoró-RN; por Melo et al., (2017), 10,99-11,80 mg/100g em frutos coletados Campina Grande-PB e Barra de Santa Rosa-PB, respectivamente; por Silva et al., (2019), 0,89 mg/100g em frutos coletados em Barro-CE. Cactáceas geralmente apresentam baixos valores de vitamina C, o figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica*) 16,91 mg/100g e a palma silvestre (*Tacinga imanoena*) 35,35 mg/100g (LIMA, 2016), o facheiro (*Cereus squamosus*) 1,78 mg/100g (MEDEIROS et al., 2016) e a pitaia (*Hylocereus undatus*) 3,64 mg/100g (FERNANDES et al., 2017). Valores altos de vitamina C são desejáveis pois ela confere um papel essencial como antioxidante e participa de inúmeras reações no organismo humano, sendo responsável, por exemplo, pela produção

do colágeno, fortalecimento do sistema imunológico, auxílio na absorção e eliminação de ferro e prevenção do escorbuto (ARAÚJO et al., 2017).

Os pigmentos têm alta capacidade de proteção contra a ação oxidativa de vários estressores ambientais (poluição, pragas e doenças) e, conseqüentemente, têm potencial como alimento funcional (LAVOLA et al., 2017). As betacianinas variaram de 9,48 a 40,33 mg/100g, nas populações de Apodi e Patú, respectivamente. As betaxantinas 7,06 mg/100g (Apodi) a 30,49 mg/100g (Patu). Nesta pesquisa as betalainas foi a classe de pigmentos majoritários em *C. jamacaru*, assim como em outras cactáceas dos gêneros *Cereus*, *Hylocereus*, *Selenicereus* e *Opuntia*. Essas são utilizadas como corantes naturais na indústria farmacêutica, em cosméticos e alimentos, além de se destacar na medicina popular como antidiabético, anti-inflamatório e anticâncer (MANCHA et al., 2019).

Os efeitos biológicos dos compostos fenólicos estão ligados a eventos de citotoxicidade e a sua capacidade para interagir com enzimas através de complexação proteica. Além disso, os flavonoides atuam como eliminadores de radicais livres tais como as espécies reativas de oxigênio (ROS) e impedem a sua formação por quelação de metais de transição (CAMPOS, 2015). O conteúdo fenólico do fruto pode ser afetado por muitos fatores, como variedade, método de cultivo, espécie, área, maturação, tempo de colheita, condições climáticas, tempo de armazenamento e ambiente (GULL et al., 2012).

A quantidade de compostos bioativos, VIC, FLA, BTC, BTX, e conseqüentemente, a maior atividade antioxidante ocorrida nos frutos coletados em Patu pode ter acontecido pelo fato dessa localidade ter solo com a maior condutividade elétrica. Pois alguns autores relatam que o estresse salino moderado pode favorecer a produção de compostos bioativos e incrementar a capacidade antioxidante dos frutos (AKHATOU; FERNANDEZ-RECAMALES, 2014).

A altitude também pode ter favorecido a maior produção de compostos bioativos nos genótipos de Patu, essa localidade apresenta elevação média de 361,5 m, sendo superior a elevação das demais populações com 61,9m em Apodi e 24,0m em Upanema. De modo conciso Ziogas et al. (2010) relataram que genótipos de azeitonas cultivadas a 300 m de altitude continham maiores concentrações de compostos fenólicos totais, quando comparados a genótipos que crescem a 10 m. Esses resultados demonstraram que fatores relacionados à altitude têm um forte efeito na via biossintética dos compostos secundários, como os compostos bioativos estudados nesta pesquisa.

Entender como os fatores ambientais influenciam as características agrônômicas desejáveis é uma forma de otimizar e/ou incrementar a produção de compostos de interesse.

As variações encontradas neste estudo, principalmente decorrentes da localização das populações de plantas, estão de acordo com o observado por Almeida et al. (2009), que apesar de ter estudado frutos de mandacaru cultivados em cidades com apenas 25 Km de distância (Queimadas-PB e Lagoa Seca-PB), foi possível observar diferenças significativas nas características físicas e físico-químicas dos frutos.

Um dos desafios que a produção de frutas e vegetais enfrenta globalmente são as variações climáticas, que estão tornando-se cada vez mais imprevisíveis, o que torna a compreensão dos efeitos ocasionados por características abióticas (por exemplo, seca, temperaturas extremas, luz e salinidade) e a consequente suscetibilidade pós-colheita e comprometimento da qualidade nutricional preponderantes para que esses estresses não limitem o potencial antioxidante de frutas e hortaliças.

CONCLUSÕES

O fruto de *Cereus jamacaru* pode ser considerado uma fonte de vitamina C, flavonoides amarelos, compostos fenólicos, betacianinas e betanxantinas.

As maiores variações interpopulacionais foram para os caracteres vitamina C, flavonoides amarelos, betacianinas, betanxantinas e atividade antioxidante pelo DPPH. Enquanto, as diferenças intrapopulacionais mais evidentes foi para polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante pelo método ABTS.

Os genótipos provenientes de Patu têm maiores teores de compostos bioativos e atividade antioxidante, sendo também essa população a que teve maior diversidade genética.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Banco do Nordeste do Brasil pelo financiamento, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

AKHATOU. I.; FERNÁNDEZ-RECAMALES. A. Nutritional and Nutraceutical Quality of Strawberries in Relation to Harvest Time and Crop Conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 5749–5760, 2014.

ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; FREIRE, R. M. M.; VALENÇA, A. R. Caracterização física e físico-química de frutos de mandacaru. Revista **Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 15-20, 2009.

ARAÚJO, M. N. T.; CASTRO, R. S.; RODRIGUES, A. C. S.; RÊGO, J. F.; UCHÔA, V. T. Avaliação do teor de vitamina C em polpas de acerola comercializadas em supermercados de Piriri-PI. **Ciência Agrícola**, v. 15, n. 1, p. 59-68, 2017.

BARBOSA NETO, M. A. **Maturação de frutos e salinidade na qualidade fisiológica de sementes de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.)**. Universidade Federal da Paraíba, 2018, 73f.

BEVILAQUA, M. R. R.; SANTANA FILHO, A. P.; MANGOLIN, C. A.; OLIVEIRA, A. J.B; MACHADO, M. F. P. S, Genetic and chemical diversity in seeds of cactus mandacaru (*Cereus* sp.) from two edaphoclimatic regions contrasting. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 765-776, 2015.

BRAND-WILLIAMS. W.; CUVELIER. M. E.; BERSET. C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28. p. 25-30. 1995.

CAMPOS, M. G. **Efeito da adubação orgânica na produção de fitomassa e nos compostos bioativos de *Passiflora incarnata* L.** Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015, 78f.

CARTAXO, S. L.; SOUZA, M. M. A., ALBUQUERQUE, U. P. Medicinal plants with bioprospecting potential used in semi-arid northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 131, p. 326-342, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. **Meteorologia**. Disponível em: < <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/>> Acesso em 20 dez. 2019.

FERNANDES, L. M. S.; VIEITES, R. L.; LIMA, G. P. P.; BRAGA, C. L.; AMARAL, J. L. Caracterização do fruto de pitaiá orgânica. **Biodiversidade**, v. 16, n. 1, p. 167-178, 2017.

FRANCIS, F. J. Analysis of Anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as Food Colors**. London. UK: Academic Press, 1982, p. 280.

GULL, J.; SULTANA, B.; ANWAR, F.; NASEER, R.; ASHRAF, M.; ASHRAFUZZAMAN, M. Variation in antioxidant attributes at three ripening stages of guava (*Psidium guajava* L.) fruit from different geographical regions of Pakistan. **Molecules**, v. 17, n. 3, p. 3165-3180, 2012.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 45, p. 1390-1393, 1997.

LAVOLA, A.; SALONEN, A.; VIRJAMO, V.; JULKUNEN-TIITTO, R. Phytochemical variation in the plant-part specific phenols of wild crowberry (*Empetrum hermaphroditum* Hagerup) populations. **Phytochemistry Letters**, v. 21, p. 11-20, 2017.

LIMA, R. K. B. **Caracterização e potencial antioxidante do fruto da palma (*Tacinga inamoena*) e do mandacaru (*Cereus jamacaru*)**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016, 62 f.

MANCHA, M. A. F.; MONTEERRUBIO, A. L. R.; VEGA, R. S.; MARTÍNEZ, A. C. Estructura y estabilidad de las betalainas. **Interciencia**, v. 44, n. 6, p. 318-325, 2019.

MDITSHWA, A.; FAWOLE, O. A.; AL-SAID, F.; AL-YAHYAI, R.; OPARA, U. L. Phytochemical content, antioxidant capacity and physicochemical properties of pomegranate grown in different microclimates in South Africa. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 30, n. 2, p. 81-90, 2013.

MEDEIROS, R. H.; LUÍZ, M. J. S.; PEREIRA, E. M.; CRUZ, E. N.; OLIVEIRA, M. I. V.; LEITE, D. D. F. Obtenção e qualidade de geleia e doce em calda de facheiro (*Cereus squamosus*) Amanda **Revista Agropecuária Técnica**, v. 37, n. 1, p. 23-26, 2016.

MELO, R. S.; SILVA, S. M.; SOUSA, A. S. B.; LIMA, R. P.; DANTAS, A. L.; DANTAS, R. L.; FIGUEIREDO, V. M. A. Maturação e qualidade de frutos de mandacaru (*Cereus*

jamacaru P. DC.) de diferentes bioclimas do estado da Paraíba. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 160-168, 2017.

MOHAMMAD, S. A.; PRASANNA, B. M. Analysis of genetic diversity in crop plants- Salient statistical tools and considerations. **Crop Science**, v.43, p.1235-1248, 2003.

NASCIMENTO, V. T.; MOURA, N. P.; VASCONCELOS, M. A. S.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. P. A. Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 2112-2119, 2011.

OLIVEIRA, F. I. C.; BORDALLO, P. N.; CASTRO, A. C. R.; CORREIA, D. Genetic diversity of spineless *Cereus jamacaru* accessions using morphological and molecular markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 4586-4594, 2013.

PASSOS, M. A. B. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) ocorrentes em Roraima. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 5, n. 14, p. 388-404, 2019.

PINHEIRO, J; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. R Core Team. 2019. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1-141. **Available at [https://CRAN.R-Project.Org/Package= Nlme](https://CRAN.R-Project.Org/Package=Nlme)**, 2019.

ROCHA, Y. M.; FARIAS, H. N. S.; BARROS, G. G. M.; LOURENÇO, E. W. R.; PEREIRA, C. P.; BEZERRA, A. N. Plantas alimentícias não convencionais (PANCs) utilizadas por comunidades indígenas e tradicionais brasileiras. In: **Conexão FAMETRO: Inovação e criatividade**, Fortaleza, 2018.

SÁNCHEZ-MORENO, C.; LARRAURI, J. A.; SAURA-CALIXTO, F.; A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.76, p.270–276, 1998.

SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; SILVA, L. R. I.; PEREIRA, T. S.; SILVA, V. M. A.; EDUARDO, R. S.; MOREIRA, F. I. N.; SILVA, G. M.; NUNES, J. S.; RIBEIRA, V. H. A.

Pasteurization of pulp and peel of mandacaru fruit (*Cereus jamacaru*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-12, 2020.

SCHWARTZ, S. J.; ELBE, J. H. V. Quantitative determination of individual betacyanin pigments by high-performance liquid chromatography. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 540-543, 1980.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E. Evaluation of the physical-chemical composition of the fruits of Mandacaru. **Acta Agronómica**, v. 58, n. 4, p. 245-250, 2009.

SILVA, S. N.; SILVA, P. B.; SILVA, R. M.; SILVA, L. P. F. R.; BARROSO, A. J. R.; ALMEIDA, F. A. C.; GOMES, J. P. Composição físico-química e colorimétrica da polpa de frutos verdes e maduros de *Cereus jamacaru*. **Magistra**, v. 30, p. 11-17, 2019.

SILVA, F. C. **Manual de Análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 1997. 627 p. (Ed. Técnico).

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendograms by objective methods. **Taxonomy**, Berlim, v.11, p.33-40, 1962.

SOUZA, L. M.; BARBOSA, M. R.; MORAIS, M. B.; PALHARES NETO, L.; ULISSES C.; CAMARA, T. R. Biochemical and morphophysiological strategies of *Myracrodruon urundeuva* plants under water deficit. **Biologia Plantarum**, v. 64, p. 20-31, 2020.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Betacyanins in fruits from redpurple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton and Rose. **Food Chemistry**. v. 77, p. 101-106, 2002.

STROHECKER, R.; HENINING, H. M. **Análisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967, 42 p.

TREZZINI, G. F.; ZRÝB, J. P. Characterization of some natural and semi-synthetic betaxanthins. **Phytochemistry**, v. 30, n. 6, p. 1901-1903, 1991.

ZIOGAS, V.; GEORGIA, T. G.; MOLASSIOTIS, A.; DIAMANTIDIS, G.;
VASILAKAKIS, M. Antioxidant and free radical-scavenging activities of phenolic extracts
of olive fruits. **Food Chemistry**, v. 120, p. 1097–1103, 2010.