



PgPNSB

Pós Graduação em Produtos Naturais
e Sintéticos Bioativos



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
MESTRADO INTERINSTITUCIONAL UFPB/UFCG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUTOS NATURAIS E SINTÉTICOS
BIOATIVOS

LÉCIA PINTO FERREIRA DE MORAIS

Análise de Componentes Principais Aplicada ao Estudo
Termoanalítico de Sementes e a Produção Vegetal do Mandacaru
(*Cereus jamacaru* DC.)

João Pessoa - PB

2018

LÉCIA PINTO FERREIRA DE MORAIS

**Análise de Componentes Principais Aplicada ao Estudo Termoanalítico de Sementes e a
Produção Vegetal do Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.)**

Dissertação apresentada ao Mestrado Interinstitucional em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos, do Centro de Ciências da Saúde e do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal da Paraíba e da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos. Área de concentração: Farmacoquímica.

Orientador:

Prof. Dr. Marcus Tullius Scotti

Coorientadora:

Prof^a. Dr^a. Ilza Maria do Nascimento
Brasileiro

João Pessoa - PB

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M827a Moraes, Lécia Pinto Ferreira de.

Análise de Componentes Principais Aplicada ao Estudo
Termoanalítico de Sementes e a Produção Vegetal do
Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) / Lécia Pinto Ferreira
de Moraes. - João Pessoa, 2018.
93 f. : il.

Orientação: Marcus Tullius Scotti.

Coorientação: Ilza Maria do Nascimento Brasileiro.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCS.

1. Biometria - Frutos e sementes. 2. Produção vegetal.
3. *Cereus jamacaru*. 4. Análise térmica. 5. PCA. I.
Scotti, Marcus Tullius. II. Brasileiro, Ilza Maria do
Nascimento. III. Título.

UFPB/BC

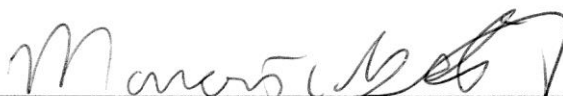
LÉCIA PINTO FERREIRA DE MORAIS

**Análise de Componentes Principais Aplicada ao Estudo Termoanalítico de Sementes e a
Produção Vegetal do Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.)**

Dissertação apresentada ao Mestrado Interinstitucional em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos, do Centro de Ciências da Saúde e do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal da Paraíba e da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos. Área de concentração: Farmacoquímica.

Aprovada em: 21/11/2018

Banca examinadora



Prof. Dr. Marcus Tullius Scotti
Universidade Federal da Paraíba
(Orientador - UFPB)



Profª. Drª. Alecksandra Vieira de Lacerda
Universidade Federal de Campina Grande
(Examinador(a) Externo(a))



Prof. Dr. Rui Oliveira Macêdo
Universidade Federal da Paraíba
(Examinador(a) Interno(a))

João Pessoa, 2018

Ao meu amado Senhor Jesus Cristo que sempre me conduz em triunfo, minha inspiração de vida, meu salvador, autor e consumidor da minha fé, em quem espero e confio.

Ao grande homem, Fabiano Ferreira da Silva, com quem tenho a honra e o privilégio de compartilhar a vida. Meu esposo, irmão, amigo e companheiro de todas as horas, que em momento algum hesitou em estar ao meu lado nos momentos mais difíceis da trajetória deste trabalho científico, dando-me sempre o suporte necessário para o meu êxito nas atividades desenvolvidas, principalmente nas atividades de campo, trilhadas em meio aos espinhos, ao calor escaldante, e aos perigos enfrentados na Caatinga. Tua abnegação pelo meu bem-estar me impulsiona a ser uma pessoa melhor a cada dia.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu amado Senhor Jesus por me sustentar nos momentos mais adversos de minha trajetória neste curso, por estar presente a todo tempo em minha vida, me dando sabedoria, saúde, perseverança, abençoando-me e sempre me concedendo grandes vitórias.

Ao meu grande amor Fabiano Ferreira da Silva, com quem amo partilhar a vida. As palavras são insuficientes para agradecer-te por tudo que fizeste, por todo o teu amor, paciência e empenho em ajudar-me nos momentos mais difíceis de minha caminhada neste curso, além do cuidado dedicado aos frutos do nosso amor, Silas Pinto Ferreira de Moraes da Silva e Suzana Pinto Ferreira de Moraes da Silva, a quem também agradeço o amor e a compreensão nos momentos de ausência. O amor que sinto por vocês é imensurável e indescritível.

À minha amada mãe Vanda Pinto Ferreira pelo apoio, amor, carinho e pelas muitas orações que me restauraram nesta caminhada.

À minha querida irmã Clécia Pinto de Moraes Silva, pelo exemplo de luta e amor a vida, não sucumbindo diante dos infortúnios que a vida nos apresenta.

Ao meu filho de leite e sobrinho Mateus Pinto, a quem amo incondicionalmente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcus Tullius Scotti, meu especial agradecimento, não apenas pela orientação, segurança, paciência, compreensão, e confiança, mas pelo exemplo de dignidade, firmeza, competência profissional e por compartilhar comigo suas ideias e conhecimentos.

Aos coordenadores do Minter – UFPB/UFCG, Prof. Dr. Rui Oliveira Macêdo e a Prof^a. Dr^a. Alecksandra Vieira de Lacerda, pelas infinitas discussões sobre o verdadeiro espírito científico, pelos desafios propostos, pelas valiosas sugestões e contribuições concedidas a este trabalho, e acima de tudo, pela admirável obstinação e coragem, sendo pioneiros em promover um Mestrado Interinstitucional no Cariri Paraibano região de poucas oportunidades.

À professora Dr^a. Ilza Maria do Nascimento Brasileiro, pela coorientação, serenidade, generosidade e solicitude todas as vezes que necessitei.

A todos os meus professores do Curso de Mestrado Interinstitucional em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos, pelas valiosas discussões e ensinamentos repassados tão importantes nesta etapa de minha formação profissional, em especial a Prof^a. Dr^a. Carina Seixas Maia Dornelas pela ajuda disponibilizada nos momentos finais deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos da UFPB, em especial ao Coordenador Prof. Dr. Josean Fachine Tavares que sempre esteve pronto a ajudar com eficiência e disposição, e a secretária Caroline Medeiros Manguiera pela paciência e disponibilidade em nos atender com as demandas administrativas, sempre com muita simpatia, educação e competência.

A João Paulo Pereira de Lima, pelo suporte nos experimentos de Análise Térmica, por estar sempre disposto a nos ajudar e a contribuir para a nossa aprendizagem.

Aos companheiros e amigos de turma do Mestrado Interinstitucional em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos, João Paulo, Polyanna Bárbara, Analu Freitas, Amilton Souza, Dayse Dias e Natasha Lorena. A experiência de compartilhar conhecimentos com vocês ao longo deste curso foi de suma importância para o meu crescimento profissional e formação acadêmica.

A Norma Maria de Oliveira Lima pelo apoio técnico, e empenho na realização dos testes de cinzas, além da satisfação de nossa amizade gerada ao longo deste trabalho.

A toda a equipe que integra os Laboratórios Unificados de Desenvolvimento e Ensaios de Medicamentos (LUDEM), em especial a Rayane Sales de Araújo Batista, Taynara Batista Lins Melo e Fabrício Havy Dantas de Andrade pela prontidão e suporte técnico nos momentos que necessitei de ajuda.

A todos que compõem o Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA/UFCG), sobretudo a Leidson Allan, José Fernando Torres, Maria Betânia e Adailza Marinho pela amizade construída e por estarem sempre prontos a servir com dedicação e empenho.

A todos que fazem parte do Laboratório de Ecologia e Botânica (LAEB), bolsistas e voluntários, principalmente Arthur, Judieldo e Micilene que sacrificaram o sono nos finais de semana e feriados para me entregar as chaves do LAEB durante a realização de experimentos, também meu especial agradecimento a Jayane Karine, companheira de viveiro e irmã em Cristo, pela ajuda ofertada em ocasião oportuna.

Ao pessoal do Laboratório de Quimioinformática, Luana, Jéssica, Alex, Mayara e Gabriela pelo agradável convívio, mesmo que por breve período.

A todos meus amados irmãos em Cristo, aos que em todo lugar invocam o nome de nosso amado Senhor Jesus, em especial aos irmãos da igreja em Monteiro/PB, pelas orações e pelo suprimento com a pura palavra de Deus.

A Vera Sena Carvalho, amiga e irmã na fé, que através de seu vasto conhecimento em Língua Inglesa mostrou aptidão para me socorrer no momento que mais necessitei.

À minha amiga, companheira de turma e de longas esperas pelo transporte para Monteiro, Alexsandra Bezerra, lastimo a tua desistência neste curso, pois me fizeste muita falta.

A todos os meus amigos, especialmente as minhas queridas amigas Cida Gomes e Rosimere Sales, pelo apoio incondicional e por sempre acreditar em meu potencial profissional.

Aos Srs. Raminho e Geraldo, homens do campo, simples, mas com grande sabedoria, que voluntariamente auxiliaram nas excussões exploratórias.

A Maura Sousa Cavalcante pela autorização da coleta de frutos de *C. jamacaru* em sua propriedade, sítio Tamanduá, município de Monteiro-PB.

Ao SINTEP, principalmente a Luiz Vieira da Costa, pela acolhida e hospedagem quando estive longe de casa.

Ao Governo do Estado da Paraíba pela concessão do afastamento para realização deste Curso.

À CAPES pela bolsa de Mestrado fornecida.

“Tudo tem seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu: há tempo de nascer e tempo de morrer; tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou; [...] Tudo fez Deus formoso no seu devido tempo; também pôs a eternidade no coração do homem, sem que este possa descobrir as obras que Deus fez desde o princípio até ao fim.”

(Eclesiastes 3:1-2, 11)

RESUMO

Cereus jamacaru DC., popularmente chamado mandacaru, é um cacto colunar, da família Cactaceae, encontrado de forma espontânea e disperso na Caatinga, utilizado pelo sertanejo como planta forrageira. Entretanto, a literatura etnofarmacológica descreve sua aplicação no combate ou prevenção a diversas doenças, tais como: doenças respiratórias, renais, úlceras estomáquicas, hipertensão arterial, enterite e reumatismo. O objetivo deste trabalho consistiu-se em estudar a caracterização de sementes e plantas juvenis de *C. jamacaru*, cultivadas em condições de produção vegetal controladas utilizando técnicas estatísticas multivariadas. Nesta perspectiva, realizou-se coleta de frutos de seis Matrizes (M) da espécie, em estágio semelhante de maturação, em dois locais do Semiárido Paraibano, Sumé (M1, M2 e M3) e Monteiro (M4, M5 e M6) para a caracterização biométrica de frutos e sementes da espécie. As sementes de *C. jamacaru* foram utilizadas como matéria prima para estudos termoanalíticos e de produção vegetal com aplicação de análise de componentes principais (PCA) nos dados originais obtidos. Determinaram-se: teor de umidade; cinzas; termogravimetria (TG) nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40 °C min⁻¹ para atmosfera de ar sintético e na razão de aquecimento 10 °C min⁻¹ para atmosfera de nitrogênio; parâmetros cinéticos e análise térmica diferencial (DTA), 10 °C min⁻¹. Através da PCA, evidenciou-se a variabilidade biométrica dos frutos e sementes das matrizes estudadas. Analisando as curvas TG na razão de aquecimento 10 °C min⁻¹, observaram-se cinco eventos de degradação de massa na atmosfera oxidativa e quatro eventos de degradação de massa em atmosfera inerte, exceto para M1 que apresentou cinco eventos de degradação de massa também em atmosfera de nitrogênio. A temperatura e a perda de massa das duas principais etapas de degradação variaram entre as matrizes. As curvas DTA mostraram três eventos exotérmicos para sementes trituradas de M1, M2, M3, M5 e M6 com pico variando entre 354,0-358,9 °C, 492,9-508,1 °C e 509,8-523,7 °C, tendo M4 apresentado quatro eventos exotérmicos. As curvas DTA para sementes inteiras de M2 e M5 revelaram dois eventos exotérmicos sendo M2 com pico variando entre 349,2-355,8 °C e 538,3-543,7 °C, e M5 com pico variando entre 361,8-374,0 °C e 537,7-551,4 °C. A PCA aplicada a TG nas quatro razões de aquecimento (atmosfera oxidativa) indicou similaridade entre os perfis térmicos das matrizes. A PCA da produção vegetal indicou um padrão para os indivíduos juvenis de M6 nos parâmetros: maior número de emergência, menos dias para emergir, maior altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo; além de permitir diferenciações entre os agrupamentos de indivíduos gerados de cada uma das matrizes monitoradas pela visualização gráfica. Os resultados obtidos neste estudo indicaram que a aplicação da PCA para avaliação de perfil térmico de sementes de *C. jamacaru*, especificamente na TG, não forneceu visualização de padrão determinado entre as matrizes avaliadas, entretanto, para avaliação da produção vegetal revelou-se como uma excelente ferramenta para estudo de diferenciação e caracterização entre as matrizes de *C. jamacaru* avaliadas, possibilitando a determinação da matriz com maior potencial produtivo, sendo M6 detentora do melhor desempenho na produção vegetal para esta espécie.

Palavras-chave: *C. jamacaru*; Biometria de frutos e sementes; Produção vegetal; Análise térmica; PCA.

ABSTRACT

Cereus jamacaru DC, popularly called mandacaru, is a columnar cactus of the family Cactaceae, found spontaneously and dispersed in the Caatinga, utilized by the sertanejo as a forage plant. However, ethno pharmacological literature describes its application in the fight against or prevention of various diseases, such as respiratory diseases, renal, stomatitis ulcers, arterial hypertension, enteritis and rheumatism. The objective of this work was to study the characterization of seeds and juvenile plants of *C. jamacaru*, grown under controlled conditions of production using multivariate statistical techniques. In this perspective, the work was carried out with collecting fruits of six matrices (M) of the species, in a similar stage of maturation, in two Semiarid sites Paraibano, Sumé (M1, M2, and M3) and Monteiro (M4, M5, and M6) for the biometric characterization of fruits and seeds of the species. The seeds of *C. jamacaru* were used as feedstock for thermoanalytical and vegetable production studies with the application of main component analysis (PCA) in the original data obtained. The following were determined: moisture content; ashes: thermogravimetry (TG) in the heating ratios 5, 10, 20, and 40 °C min⁻¹ for the atmosphere of synthetic air and heating ratio 10 °C min⁻¹ for nitrogen atmosphere; kinetic parameters and differential thermal analysis (DTA), 10 °C min⁻¹. Through the PCA, the biometric variability of the fruits and seeds of the studied matrices was evidenced. Analyzing the TG curves at the 10 °C min⁻¹ heating rate, there were five mass degradation events in the oxidative atmosphere and four mass degradation events in inert atmosphere, except for M1 that presented five mass degradation events also in atmosphere of nitrogen. The temperature and mass loss of the two main stages of degradation varied among the matrices. The DTA curves showed three exothermic events for M1, M2, M3, M5, and M6 crushed seeds with peak ranging from 354.0–358.9 °C, 492.9–508.1 °C and 509.8–523.7 °C, and M4 presented four exothermic events. The DTA curves for whole seeds of M2 and M5 revealed two exothermic events being M2 with peak ranging between 349.2–355.8 °C and 538.3–543.7 °C, and M5 with peak ranging between 361.8–374.0 °C and 537.7–551.4 °C. PCA applied to TG in the fourth heating reasons (oxidative atmosphere) indicated similarity between the thermal profiles of the matrices. The PCA of the vegetal production indicated a pattern for the juvenile individuals of M6 in the parameters: greater number of emergence, less days to emerge, greater height of the aerial part and diameter at the level of the ground; in addition to allowing differentiations between the groupings of individuals generated from each of the matrices monitored by the graphic visualization. The results obtained in this study indicated that the application of PCA for the evaluation of the thermal profile of seeds of *C. jamacaru*, specifically in TG, did not provide standardized visualization among the evaluated matrices, however, for the evaluation of vegetable production, revealed to be an excellent tool for the study of differentiation and characterization among the *C. jamacaru* matrix, evaluated, allowing the determination of the matrix with higher productive potential, with M6 having the best performance in plant production for this species.

Keywords: *C. jamacaru*; Fruit and seed biometry; Vegetable production; Thermal analysis; PCA.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Fator de frequência
AT	Análise Térmica
<i>C. jamacaru</i>	<i>Cereus jamacaru</i> DC.
CG/EM	Cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
DTA	Análise Térmica Diferencial
E	Matriz de erros
<i>E_a</i>	Energia de ativação
ESIMS	Espectrometria de massas por ionização eletrospray
HCA	Análises de Agrupamento Hierárquico (<i>Hierarchical Cluster Analysis</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAEB	Laboratório de Ecologia e Botânica
LUDEM	Laboratórios Unificados de Desenvolvimento Ensaios de Medicamentos
M	Matriz/planta matriz
<i>n</i>	Ordem da reação
N.A	Não apresentou
N.I	Não informado
P	<i>loadings</i> (pesos)
PC	<i>Principal Component</i>
PCA	Análise de Componentes Principais (do inglês <i>Principal Component Analysis</i>)
PCs	Componentes principais
RMN	Ressonância magnética nuclear
RMN ¹H	Ressonância magnética nuclear de hidrogênio
T	<i>scores</i> (escores)
<i>T_{final}</i>	Temperatura final
TG	Termogravimetria
TGA	Análise Termogravimétrica
<i>T_{inicial}</i>	Temperatura inicial
TMA	Análise Termomecânica
X	Matriz de dados

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplares adultos da espécie <i>Cereus jamacaru</i> DC., município de Monteiro-PB23	
Figura 2 - Polinizadores visitando flores de indivíduos de <i>C. jamacaru</i> . (A) Coleóptero; (B) <i>Apis melífera</i> ; (C) <i>Trigona sp</i>	24
Figura 3 - Localização dos municípios de Sumé e Monteiro na microrregião do Cariri Ocidental, Semiárido Paraibano	31
Figura 4 - Coleta de frutos e identificação de matrizes de <i>C. jamacaru</i> . (A) M5 localizada em área mais conservada; (B) Matriz 6 localizada em área mais degradada	34
Figura 5 - Frutos higienizados, sanitizados e identificados para os ensaios biométricos. Frutos das matrizes coletadas: (A) Sumé; (B) Monteiro	35
Figura 6 - Mensurações dos frutos (comprimento e diâmetro)	36
Figura 7 - Aspecto externo do fruto inteiro de <i>C. jamacaru</i> (A) e as duas partes do mesmo fruto cortado no sentido do comprimento (B, C).....	37
Figura 8 - Biometria das sementes das plantas matrizes coletadas: amostragem (A) M1; (B) M2; (C) M3; (D) M4; (E) M5; (F) M6	37
Figura 9 - Preparação do substrato e colocação do mesmo nos vasos	39
Figura 10 - Padronização da semeadura de <i>Cereus jamacaru</i> DC. nos vasos.....	40
Figura 11 - Substituição dos palitos de madeira por material plástico.....	41
Figura 12 - Rega diária com entrada de água controlada (250 mL/vaso).....	42
Figura 13 - Shimadzu termobalança, modelo TGA-50, acoplada ao sistema de ventilação e ao computador	44
Figura 14 - Analisador Térmico Diferencial, DTA-50, Shimadzu.....	45
Figura 15 - Processo germinativo no interior do fruto. (A) Fruto cortado com sementes germinadas no interior; (B) Sementes germinadas removidas do fruto; (C) Fruto com casca removida expondo a polpa com sementes germinadas.....	49
Figura 16 - Estágios de desenvolvimento e crescimento de indivíduos juvenis de <i>C. jamacaru</i> considerando o tempo de emergência. (A) Nascimento da plântula; (B) Plantas com um mês da emergência; (C) Indivíduo com dois meses da emergência; (D) Plantas com três meses da emergência; (E) Indivíduos com quatro meses após a emergência; (F) Visão geral da produção vegetal ao sexto mês da implantação do experimento.....	55
Figura 17 - Características morfológicas de plantas juvenis de <i>C. jamacaru</i> : corpo cilíndrico com brotações espinhosas. (A) Indivíduo com quatro meses cheio de espinhos de coloração	

amarelada; (B) Espinhos amarelados na planta ao sexto mês da emergência; (C) Espinhos avermelhados em indivíduo com seis meses da emergência	56
Figura 18 - Retiradas das plantas para avaliação nos períodos pré-determinados. (A) Indivíduo com 3 meses; (B) Indivíduo com 4 ½ meses; (C) Indivíduo com 6 meses	58
Figura 19 - Composição centesimal expressa em percentual de umidade das sementes das matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) de <i>C. jamaru</i>	60
Figura 20 - Determinação dos teores de cinzas para as sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6 em função do tempo de retirada da mufla.....	61
Figura 21 – Curvas TG dinâmica para sementes das seis matrizes de <i>C. jamaru</i> na razão de aquecimento 10°C min ⁻¹ , em atmosfera de ar sintético (A) e nitrogênio (B).....	62
Figura 22 - Sobreposição de curvas TG de semente das matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) de <i>C. jamaru</i> nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40°C min ⁻¹	65
Figura 23 - Sobreposição de curvas DTA de sementes trituradas das matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) de <i>C. jamaru</i> (A) e a DTA de M4 (B), razão de aquecimento 10 °C min ⁻¹ .	68
Figura 24 - Curvas de DTA das sementes inteiras das matrizes (M2 e M5) de <i>C. jamaru</i> ..	69
Figura 25 - Resultado da PCA para os dados da biometria dos frutos de <i>C. jamaru</i> : (A) Gráfico dos <i>scores</i> da amostragem de frutos coletados das matrizes de Sumé (M1, M2 e M3) e Monteiro (M4; M5 e M6); (B) Gráfico dos <i>loadings</i> : contribuição das variáveis para variabilidade biométrica dos frutos de cada matriz avaliada.....	71
Figura 26- PCA da biometria dos frutos de <i>C. jamaru</i> : resultado gráfico da elipse de Hotelling T2 com as seis matrizes trabalhadas (M1, M2, M3, M4, M5 e M6).....	73
Figura 27 - Resultado da PCA para a biometria das sementes de <i>C. jamaru</i> : (A) Gráfico dos <i>scores</i> para amostragem de 100 (cem) sementes por matriz (M1 cor azul; M2 cor vermelha; M3 cor verde; M4 cor azul claro; M5 cor vinho e M6 cor cinza); (B) Gráfico dos <i>loadings</i> : contribuição das variáveis	74
Figura 28 - PCA da biometria das sementes de <i>C. jamaru</i> para as seis matrizes trabalhadas (M1 cor azul; M2 cor vermelha; M3 cor verde; M4 cor azul claro; M5 cor vinho e M6 cor cinza) usando a elipse de Hotelling T2.....	75
Figura 29 - Resultado da PCA para os dados da Termogravimetria (TG) de sementes de <i>C. jamaru</i> em fluxo de Ar nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40 °C.min ⁻¹	76
Figura 30- PCA para os dados da Termogravimetria (TG) de sementes de <i>C. jamaru</i> em fluxo de Ar com aplicação da elipse de Hotelling T2	77
Figura 31 - PCA da produção vegetal: (A) Gráfico dos <i>scores</i> mostrando a relação entre os indivíduos juvenis de <i>C. jamaru</i> monitorados, descendentes de cada M, durante o período	

de observação do desenvolvimento; (B) Gráfico dos *loading* considerando todos os parâmetros avaliados no monitoramento.....78

Figura 32 - PCA da produção vegetal de *C. jamaru* desconsiderando os dados de mortalidade: (A) Gráfico dos *scores* mostrando o comportamento dos agrupamentos de indivíduos juvenis de *C. jamaru* de cada matriz trabalhada (M1 cor azul; M2 cor vermelha; M3 cor verde; M4 cor azul claro; M5 cor vinho e M6 cor cinza); (B) Gráfico dos *loading*: sem o descritor mortalidade 80

Figura 33 - PCA da produção vegetal de *C. jamaru* para as seis matrizes trabalhadas (M1 cor azul; M2 cor vermelha; M3 cor verde; M4 cor azul claro; M5 cor vinho e M6 cor cinza) usando a elipse de Hotelling T2, sem o descritor mortalidade.....81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas de massa fresca, comprimento e diâmetro de frutos das matrizes de <i>C. jamacaru</i> e número de sementes por fruto (média $\pm$ desvio padrão; máximo e mínimo).....	47
Tabela 2 - Precipitação máxima dos municípios de Sumé e Monteiro nos anos de 2016, 2017 e 2018 (até outubro do ano em curso)	48
Tabela 3 - Medidas de comprimento, largura, espessura e massa fresca de sementes das Matrizes de <i>C. jamacaru</i> M1, M2, M3, M4, M5 e M6 (média $\pm$ desvio padrão; máximo e mínimo)	50
Tabela 4 - Dados do pré-teste com sementes da Matriz 2 para os tratamentos em choque térmico e embebição. Para o tratamento de embebição (média $\pm$ desvio padrão).....	52
Tabela 5 - Emergência e mortalidade da produção vegetal de <i>C. jamacaru</i> : dados provenientes do monitoramento diário no período de sete meses	53
Tabela 6 - Dados de análise pluviométrica coletados no Viveiro para Produção de Mudas Nativas e Estudos de Ecologia e Dinâmica da Caatinga	54
Tabela 7 - Monitoramento do desenvolvimento e crescimento de plantas juvenis de <i>C. jamacaru</i> descendentes das matrizes coletadas em Sumé: medidas de altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo (média $\pm$ desvio padrão).....	57
Tabela 8 - Monitoramento do desenvolvimento e crescimento de plantas juvenis de <i>C. jamacaru</i> descendentes das matrizes coletadas em Monteiro: medidas de altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo (média $\pm$ desvio padrão).....	57
Tabela 9 - Retiradas de plantas juvenis de <i>C. jamacaru</i> com 3, 4 ½ e 6 meses da emergência para as seguintes mensurações: Altura (parte aérea e parte radicular), diâmetro ao nível do solo e massa fresca (média $\pm$ desvio padrão)	59
Tabela 10 - Dados das curvas termogravimétricas dinâmicas para a principal etapa de degradação das sementes estudadas	66
Tabela 11 - Parâmetros cinéticos de decomposição térmica das sementes das plantas matrizes avaliadas usando o método de Ozawa	67
Tabela 12 - Parâmetros terminados por DTA para sementes trituradas de <i>C. jamacaru</i>	68
Tabela 13 - Análise DTA de sementes inteiras (por unidade) de <i>C. jamacaru</i>	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo Geral	19
2.2	Objetivos Específicos	19
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1	Definidores Vegetacionais em Sistemas Naturais do Semiárido Brasileiro	20
3.2	<i>Cereus jamacaru</i> DC.: Marcadores Ecológicos e Fisiológicos	21
3.3	Potencialidades Farmacológicas de População de <i>Cereus jamacaru</i> DC.	25
3.4	Técnicas Termoanalíticas	26
3.4.1	Análise Térmica (TA)	26
3.4.2	Análise Térmica Aplicada a Drogas Vegetais	27
3.5	Análise de Componentes Principais (PCA)	29
4	MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1	Área de estudo	31
4.1.1	Coleta de dados climáticos	32
4.2	Coleta e análise dos dados	32
4.3	Caracterização biológica e produção vegetal de <i>Cereus jamacaru</i> DC.	33
4.3.1	Plantas Matrizes: localização e coleta de frutos	33
4.3.2	Caracterização biométrica de frutos e sementes de <i>C. jamacaru</i>	34
4.3.3	Pré-teste – superação de dormência	38
4.3.4	Experimento em vasos com as Matrizes 1, 2, 3, 4, 5 e 6	39
4.3.4.1	Preparação dos vasos e do substrato	39
4.3.4.2	Tratamento de embebição e plantio das sementes	40
4.3.4.3	Rega, monitoramento da germinação, desenvolvimento e crescimento	41
4.3.4.4	Retiradas de indivíduos juvenis para avaliação	42
4.4	Análises físico-químicas das sementes	43
4.4.1	Determinação dos teores de umidade e cinzas pelos métodos convencionais adaptados	43
4.4.2	Análise Termogravimétrica (TGA)	44
4.4.3	Determinação da Cinética de degradação	45
4.4.4	Análise Térmica Diferencial (DTA)	45
4.5	Aplicação do método de Análise de Componentes Principais	46

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1	Resultado da caracterização biológica e produção vegetal de <i>Cereus jamacaru</i> DC....	47
5.1.1	Avaliação da caracterização biométrica de frutos e sementes de <i>C. jamacaru</i>	47
5.1.2	Estudo da produção vegetal de <i>C. jamacaru</i>	51
5.2	Resultados das Análises físico-químicas das sementes	60
5.2.1	Teores de umidade e cinzas pelos métodos convencionais adaptados	60
5.2.2	Estudos Termogravimétricos (TG).....	62
5.2.3	Estudos dos Parâmetros Cinéticos.....	64
5.2.4	Estudos Térmicos Diferenciais.....	67
5.3	Análise de Componentes Principais aplicada ao estudo de <i>Cereus jamacaru</i> DC...	70
5.3.1	Biometria de frutos e sementes.	71
5.3.2	PCA aplicada a Análise Térmica.....	75
5.3.3	PCA aplicada à produção vegetal de <i>C. jamacaru</i>	77
6	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	84
	APÊNDICES	90
	APÊNDICE A - Exemplo de entrada de dados utilizados na PCA para a biometria dos frutos das matrizes estudadas com os descritores trabalhados.....	90
	APÊNDICE B - Exemplo de entrada de dados utilizados na PCA para a biometria das sementes das matrizes estudadas com os descritores trabalhados.....	91
	APÊNDICE C - Descritores trabalhados na PCA da Termogravimetria (TG) de sementes de <i>C. jamacaru</i> das seis matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) em fluxo de Ar sintético nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40 °C.min⁻¹	92
	APÊNDICE D - Exemplo de entrada de dados utilizados na PCA para a produção vegetal de <i>C. jamacaru</i> com os descritores trabalhados.....	93

1 INTRODUÇÃO

A flora do Semiárido brasileiro se constitui como uma rica fonte de plantas com potencial medicinal. Na Região Nordeste o uso de plantas medicinais é amplamente difundido pela população que detém conhecimento dos efeitos benéficos das mesmas de forma empírica, a partir da propagação de informações que são repassadas de geração em geração, mesmo sem a comprovação científica.

Dentre as plantas utilizadas para fins medicinais, encontra-se o *Cereus jamacaru* DC. (AGRA et al. 2007), Cactaceae, gênero *Cereus*, com alto poder de adaptação a climas árido e semiárido, planta típica do Bioma Caatinga e símbolo da Região Nordeste do Brasil. Cactos do gênero *Cereus*, comumente conhecidos como mandacaru, como é o caso de *C. jamacaru*, também são encontrados em outras regiões brasileiras devido à interferência humana durante o fluxo migratório de uma região para outra, promovendo, desta forma, a propagação e disseminação das populações *Cereus*, contribuindo assim para o aumento da diversidade genética de plantas deste gênero (FERNANDES et al., 2016).

A literatura etnofarmacológica descreve o uso do mandacaru como planta medicinal empregada pela população no combate ou prevenção a diversas doenças. As raízes de *C. jamacaru* são utilizadas no combate a doenças respiratórias, renais e como diuréticas, a poupa do caule, misturada ao açúcar, é indicada no tratamento de úlceras estomáquicas, enquanto o decocto do caule e o sumo desta planta são usados contra hipertensão arterial, afecções dos rins, enterite e como antirreumática (AGRA et al., 2007; ALBUQUERQUE et al., 2007; MARINHO; SILVA; ANDRADE, 2011).

Utilizando extratos de hastes de *C. jamacaru*, Morais (2013) avaliou a ação antioxidante deste cacto. Segundo o autor, os dados obtidos em seus estudos indicaram que o mandacaru sintetiza polissacarídeos bioativos com potenciais antioxidantes e antetumorais. Neste estudo, curiosamente, o extrato que apresentou maior capacidade antioxidante foi justamente o que possuiu maiores quantidades de compostos fenólicos. Em estudo realizado por Araújo et al. (2008), selecionando quatro grupos de plantas, dentre elas o *C. jamacaru*, em análise de concentração de compostos fenólicos (flavonoides e taninos) detectou-se a presença de baixas concentrações destes bioativos nesta espécie.

Os metabólitos secundários são os principais responsáveis pela atividade farmacológica existentes nas espécies vegetais. No mandacaru, os metabólitos secundários (tiramina e *N*-metiltiramina) presentes podem ser considerados marcadores químicos do mesmo, estes alcaloides foram identificados em extratos obtidos a partir de hastes de plantas

adultas, assim como também foi identificada a presença de hordenina, alcaloide que produz efeito alucinógeno. As hastes de *C. jamacaru* são ricas em alcaloides e esteroides (DAVET, 2005; DAVET et al., 2009a).

Nos cactos, a presença de alcaloides é conhecida em várias espécies que são tradicionalmente utilizadas por povos mexicanos, devido aos efeitos curativos para diversas doenças que as mesmas apresentam. Os alcaloides são encontrados na constituição química das seguintes espécies de Cactaceae comumente utilizados por estes povos: *Lophocereus schottii* (Engelm.) Britton & Rose, *Lophophora williamsii* (Lem.) Coulter, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, *Opuntia imbricata* (Haworth) DC e *Pachycereus pecten-aboriginum* (Engel.) Britton & Rose (BIBLIOTECA DIGITAL DE LA MEDICINA TRADICIONAL MEXICANA, 2009).

A espécie *C. jamacaru* apresenta crescimento e desenvolvimento muito lento até atingir idade adulta, embora não se saiba muito sobre a fenologia desta espécie. No entanto, por se tratar de uma espécie com alto potencial econômico para o Semiárido brasileiro, grande relevância para manutenção, conservação da biodiversidade desta região e considerável potencial farmacológico, é imprescindível despendar esforços e atenção para produzir informações que possibilitem maior aproveitamento desta espécie vegetal.

Para o estudo de plantas em condições diversas, atualmente tem-se empregado a análise multivariada como ferramenta estatística exploratória. A análise multivariada permite extrair uma quantidade de informação que dificilmente seria gerada empregando métodos univariados (BEEBE; KOWALSKI, 1987). Dentre as técnicas de análise multivariada, as mais conhecidas são as análises de agrupamento hierárquico (HCA) e a Análise de Componentes Principais (PCA). A aplicação da PCA associada a técnicas analíticas vem sendo usada para o estudo de diversas espécies vegetais para o reconhecimento de padrões nos conjuntos de informações investigados, como observado nas pesquisas de autores tais quais Yamaguchi et al. (2011), Guimarães et al. (2017) e Mibei et al. (2018) entre outros.

Neste sentido, a associação da aplicação da PCA e o desenvolvimento de tecnologia analítica para caracterização de sementes e plantas juvenis de *Cereus jamacaru* DC., cultivadas em condições de produção vegetal controladas, possibilitará a obtenção de informações de fundamental importância para o uso e aproveitamento desta espécie como matéria prima fitoterápica, assim como, o incentivo ao seu cultivo, que irá beneficiar direta ou indiretamente a vida do sertanejo, que embora tenha o mandacaru como parte integrante de seu cotidiano, usufrui de forma inadequada às riquezas que este cacto tem a oferecer, permitindo erradicar o uso indiscriminado do mesmo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar a caracterização de sementes e plantas juvenis de *Cereus jamacaru* DC., cultivadas em condições de produção vegetal controladas utilizando técnicas estatísticas multivariadas.

2.2 Objetivos Específicos

- Coletar frutos das matrizes de *C. jamacaru* localizadas nos municípios de Monteiro e Sumé;
- Realizar estudo biométrico de frutos e sementes de *C. jamacaru*;
- Caracterizar físico-quimicamente as sementes de *C. jamacaru*, através de análise de teor de umidade, cinzas, termogravimetria (TG) nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40 °C.min⁻¹, análise térmica diferencial (DTA), 10 °C.min⁻¹;
- Implantar um sistema de produção vegetal de *C. jamacaru* em pequena escala, das matrizes coletadas, com tempo determinado de sete meses de experimentação, incluindo monitoramento do processo de emergência, crescimento e desenvolvimento da espécie (com mensurações mensais em relação à data de emergência de cada indivíduo) com término das observações após o sétimo mês da implantação;
- Retirar indivíduos juvenis de *C. jamacaru* para mensurações de massa fresca, parte aérea e parte radicular durante a fase de desenvolvimento e crescimento em períodos pré-determinados: três, quatro e meio e seis meses da emergência;
- Utilizar a análise de componentes principais para visualizar padrões entre as plantas matrizes (M).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Definidores Vegetacionais em Sistemas Naturais do Semiárido Brasileiro

A maior parte do Semiárido brasileiro está situada na Região Nordeste, compreendendo os estados do Rio Grande do Norte, Pernambuco, Ceará, Maranhão, Paraíba, Piauí, Alagoas, Sergipe e Bahia mais o norte do estado de Minas Gerais na Região Sudeste, contabilizando 1.262 municípios e abrangendo uma extensão territorial total de 1.128.697 Km², com uma população que em 2017 atingiu 27.870.241 habitantes (SUDENE, 2017), cerca de 13,3% da população brasileira, cujo principal ecossistema existente é o Bioma Caatinga (DAMM; FARIAS, 2006).

O clima do Semiárido é caracterizado por apresentar variabilidade temporal das precipitações que se concentram em uma curta estação chuvosa de quatro meses, compreendida no período entre fevereiro e maio com regime de chuvas fortes (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2010), podendo ocorrer longos períodos de estiagem, além disso, o Semiárido apresenta clima seco com temperaturas elevadas. Possui características geológicas predominantes com solos jovens ou pouco profundos, quase sempre pedregosos, compostos por argilas e areias provenientes do processo de decomposição rochosa (ARAÚJO, 2011; KÜSTER; MARTÍ, 2006).

Esta região vem sofrendo ao longo dos anos a ação do homem que é o grande responsável pelo processo de degradação que assola sua cobertura vegetal pelo uso da lenha, queimadas constantes e desmatamento desmedido para utilização do solo na agropecuária causando assim, erradicação de diversas espécies ou seu raleamento (ARAÚJO, 2011) e aceleração dos processos naturais erosivos.

O tipo de vegetação encontrada nesta região é a Savana-Estépica, caracterizada como uma formação vegetal resistente à carência hídrica, predominando plantas espinhosas decíduais, tais como a família Cactaceae com muitos gêneros bastante característicos como, por exemplo, *Cereus jamacaru* DC., comumente encontrado em todas as áreas deste tipo de vegetação, e mais espécies dos gêneros *Pilosocereus*, *Pereskia* e *Melocactus* (IBGE, 2012).

Outras espécies típicas e características da Savana-Estépica se destacam além das plantas da família Cactaceae, tais como: a *Amburana acreana* (Allemão) A. C. Sm. e *Schinopsis brasiliensis* Engl., embora outras espécies reforcem a identidade florística da Savana-Estépica, como é o caso dos gêneros: *Zizyphus mistol* Grieb. no Chaco Mato-Grossense-do-Sul e *Z. joazeiro* Mart. no Sertão Nordestino, *Prosopis affinis* Spreng. no Chaco

Mato-Grossense-do-Sul e no Parque de Espinilho do Rio Grande do Sul e *P. ruscifolia* Griseb. no Sertão Nordestino, bem como a *Copernicia prunifera* (Mill.) H. E. Moore com ocorrência em toda área do Sertão Nordestino e *C. alba* Morong ex Morong e Britton com ocorrência no Pantanal Mato-Grossense, segundo estudos do IBGE¹.

A biodiversidade deste ecossistema é bem rica, no entanto, os processos de degradação, desencadeados por atividades humanas ou de ordem natural, como é o caso dos longos períodos de estiagens, estão causando diversos danos: material, ambiental, econômico e social. Isso tem gerado nos últimos anos uma acentuada preocupação com a vulnerabilidade em que se encontra este Bioma, pois muitas de suas espécies vegetacionais estão sofrendo redução na densidade populacional (NUNES, 2013) colocando em risco a existência e conservação das mesmas.

Garantir a conservação, propagação e perpetuação das espécies nativas do Semiárido brasileiro, mantendo sua identidade florística, assegura o futuro da biodiversidade deste Bioma fascinante e de características singulares.

3.2 *Cereus jamacaru* DC.: Marcadores Ecológicos e Fisiológicos

A família Cactaceae, um dos grupos de Angiospermas, é comumente encontrada em regiões de clima árido ou semiárido. Esta família é composta por 124 gêneros e cerca de 1.440 espécies (HUNT et al., 2006, apud MACHADO et al., 2013). O Brasil destaca-se entre os principais centros de diversidade de Cactaceae, sendo considerado no cenário mundial, em termos de importância, como o terceiro centro de diversidade desta família (ZAPPI; TAYLOR; LAROCCA, 2011), contando com 37 gêneros, 233 espécies das quais 174 são endêmicas, 94 subespécies sendo 80 endêmicas e 1 variedade não endêmica (ZAPPI; TAYLOR; MACHADO, 2010). Nesta família encontram-se as plantas do gênero *Cereus*, conhecidas popularmente na maioria das regiões do Brasil como mandacaru, entre elas o *Cereus jamacaru* DC., espécie nativa endêmica, frequente em todas as áreas de Savana-Estépica (IBGE, 2012).

Duas subespécies de *C. jamacaru* são reconhecidas: a subespécie *jamacaru* e a subespécie *calcirupicola*. Zappi, Taylor e Machado (2010), descreveram o *C. jamacaru* subsp. *calcirupicola* (F. Ritter) N.P.Taylor & Zappi, como nativa endêmica, distribuída na Bahia (BA) e Minas Gerais (MG) e *C. jamacaru* subsp. *jamacaru*, como nativa endêmica,

¹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística — IBGE (Manual Técnico da Vegetação Brasileira, 2012).

distribuída nos estados do Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Bahia (BA), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e no estado de Minas Gerais (MG).

O cacto *C. jamacaru*, assim como todas as plantas da família Cactaceae, é uma espécie com resistência à carência hídrica, embora os fatores climáticos sejam relevantes para o processo de crescimento e desenvolvimento destas plantas, tanto no aspecto vegetativo como no reprodutivo, interferindo desta forma na fenologia das mesmas, embora pouco se conheça sobre o comportamento fenológico desta espécie no campo, em seu habitat natural.

A reprodução destes cactos pode ocorrer de forma assexuada ou sexuada. A propagação vegetativa constitui-se como a principal forma de reprodução destas plantas, aplicada para o melhoramento genético e na multiplicação das mesmas (GUEDES et al., 2009; FERNANDES et al., 2016).

Por se tratar de uma planta angiosperma, as suas pequenas sementes se apresentam dentro do fruto, conferindo a ela maior potencialidade reprodutiva, devido à proteção natural que o fruto proporciona à semente para sua germinação futura. De acordo com o estudo realizado por Alencar et al. (2012), os lipídios foram as principais reservas mobilizadas durante o processo de germinação em sementes de *C. jamacaru*, correspondendo a 55% e 65% da massa seca dos cotilédones e do eixo hipocótilo-radícula, respectivamente, indicando que suas sementes são oleaginosas e que o elevado teor de lipídios em suas sementes pode ser considerado uma característica de adaptação da espécie que beneficia sua germinação e o desenvolvimento de plântulas mesmo em condições ambientais desfavoráveis para este fim. As proteínas corresponderam a segunda reserva mais abundante utilizada nesse processo, compreendendo 40% da massa seca dos cotilédones das sementes de mandacaru.

As plantas desta espécie quando adultas são arbustos grandes ou arvoretas medindo de 3 a 8 metros de altura, podendo atingir uma altura de 10 m (ALENCAR, 2009; DAVET, 2005; LORENZI; MATOS, 2008), como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Exemplares adultos da espécie *Cereus jamacaru* DC., município de Monteiro-PB



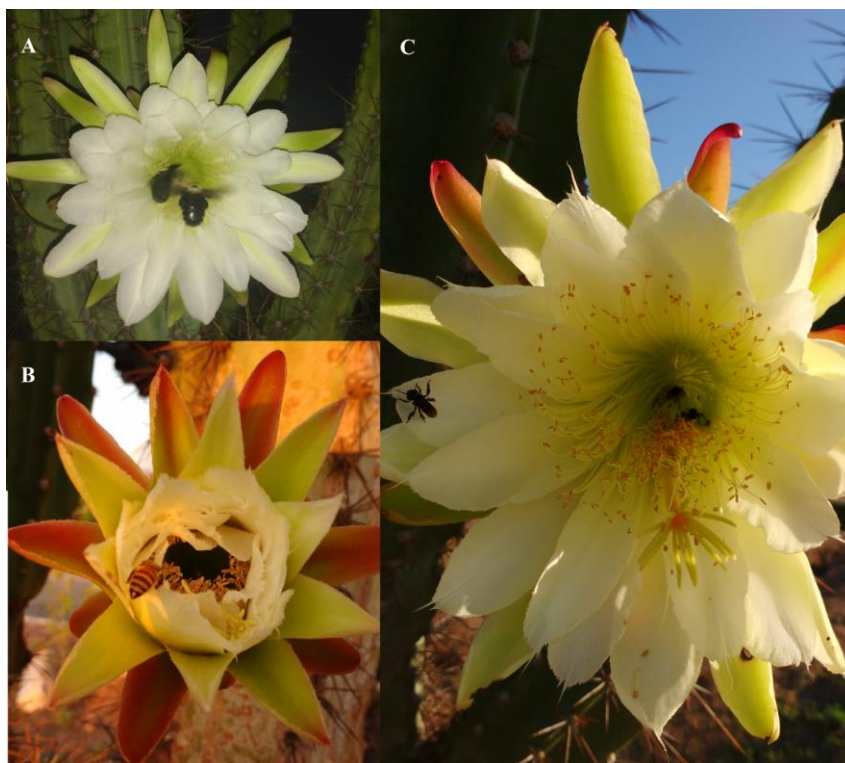
Fonte: Acervo do próprio autor.

Esta cactácea apresenta caule suculento, fotossinteticamente ativo e sistemas radiculares superficiais e extensos, que permitem absorção rápida de água após sofrer estresse hídrico (SALES et al., 2014), ou seja são plantas xerófitas, providos de tronco lenhoso, ramos articulados de coloração verde com espinhos radiais em substituição a ausência de folhas, facilmente adaptada ao Semiárido brasileiro. Suas flores são solitárias, grandes, fixadas nos vértices dos ramos, de hábitos noturnos, coloração branca e amarela (ALENCAR, 2009; DAVET, 2005; LORENZI; MATOS, 2008; MEIADO et al., 2010). Segundo Rocha e Agra (2002), as flores da espécie *C. jamacaru* ocorrem de janeiro a agosto, período em que são visitadas por animais silvestres polinizadores (Figura 2).

O mandacaru produz frutos comestíveis, doces, suculentos, de coloração avermelhado-roxo, grandes, que se abrem quando atingem o estágio de maturação (deiscente) contendo

numerosas sementes pretas espalhadas na polpa branca (LORENZI; MATOS, 2008). Estes frutos apresentam tempo de vida curto, pois são frágeis e perecíveis, tornando-se isto um empecilho para sua comercialização in natura (OLIVEIRA et al., 2015).

Figura 2 - Polinizadores visitando flores de indivíduos de *C. jamacaru*. (A) Coleóptero; (B) *Apis melífera*; (C) *Trigona sp*



Fonte: Acervo do próprio autor.

De acordo com Silva e Alves (2009), os frutos deste cacto são encontrados em grandes quantidades no período de fevereiro a setembro, sem aproveitamento comercial, embora apresente potencialidades no ramo alimentício para elaboração de doces e geleia.

Em regiões Semiáridas a presença das Cactaceae, como é o caso das populações de *C. jamacaru*, constitui-se um recurso energético disponível para alimento de animais silvestres, principalmente os polinizadores e dispersores que visitam suas flores e frutos, desempenhando um importante papel para o equilíbrio ecológico nestas regiões, seu desaparecimento causaria um impacto ecológico na cadeia alimentar destes animais (ZAPPI et al., 2011), que portanto, deixariam de exercer sua função no ecossistema com consequências catastróficas para a biodiversidade do habitat em que estão inseridos.

A disponibilidade de registros e conhecimentos específicos sobre a ecologia de populações de *C. jamacaru* chegam a ser mínimos, uma vez que são poucos os estudos

científicos com foco nesta temática, dificultando assim, a obtenção de informações específicas acerca do comportamento desta espécie no meio em que está inserida.

3.3 Potencialidades Farmacológicas de População de *Cereus jamacaru* DC.

O conhecimento popular sobre o uso de plantas tidas como medicinais é passado de geração em geração, de acordo com os relatos difundidos ao longo dos anos pelos povos que costumam utilizar plantas para cura ou amenização de doenças. O conhecimento empírico sobre o efeito de determinadas plantas usadas popularmente instiga a um estudo científico que venha a comprovar a ação farmacológica das espécies vegetais que são comumente utilizadas por estes povos e seus descendentes.

Neste sentido, o uso medicinal do *Cereus jamacaru* DC. é pouco difundido, tendo principal aplicação pelas comunidades residentes no Semiárido nordestino como planta forrageira, ou seja, como fonte de alimento para animais, sobretudo nos extensos períodos de estiagem, devido a sua resistência durante a seca, uma vez que a oferta de alimentos se torna escassa ou inexistente, restando apenas os cactos para este fim.

No Cariri Paraibano, Agra et al. (2007) registraram o uso do infuso das raízes do *C. jamacaru* no combate a doenças respiratórias e renais, principalmente como diurético, enquanto a poupa do caule, misturada ao açúcar, é utilizada no tratamento de úlceras estomáquicas.

O estudo etnobotânico realizado por Marinho, Silva e Andrade (2011), no município de São José de Espinharas, situado na Mesorregião do Sertão Paraibano, historiou informações sobre a utilização popular do *C. jamacaru* para fins fitoterápicos. Segundo o conhecimento popular o caule do mandacaru na forma de decocto e o sumo desta planta são usados para cura e prevenção da hipertensão arterial, afecções dos rins, enterite e também com indicação antireumática de acordo com as informações coletadas.

Esta espécie vegetal também é empregada pela população como cardiotônico (DAVET et al., 2009a). O seu uso como planta medicinal demonstra de certa forma, potencialidades farmacológicas, embora sua utilização seja feita empiricamente.

Testes de atividade antibacteriana de extrato bruto etanólico de *C. jamacaru* e da substância isolada (tiramina) presente no mesmo, demonstraram potencial antibacteriano deste cacto, e que as substâncias naturais presentes em seu extrato constituem perspectivas para a obtenção de antibióticos naturais, mas que o uso da tiramina para fins terapêuticos seria

inviável, devido à necessidade em administrar uma concentração elevada desta substância para o efeito esperado (DAVET, 2005; DAVET et al., 2009b).

Conhecer as potencialidades farmacológicas desse cacto e sua aplicação para a indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia constitui grande relevância para o aproveitamento biotecnológico desta espécie, promovendo assim a valorização do mesmo na região que está inserido.

3.4 Técnicas Termoanalíticas

Diversas técnicas analíticas vêm sendo empregadas para estudo de caracterização físico-química de plantas fitoterápicas, tais como: cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas (CG/EM) e cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com diferentes detectores, ultravioleta, infravermelho, arranjo de diodos, espectrometria de massas, entre outros.

Nos dias atuais, as técnicas termoanalíticas vêm sendo aplicadas como uma importante ferramenta de trabalho em todas as áreas dedicadas à pesquisa, ao desenvolvimento de novos produtos e ao controle de qualidade da produção. Segundo Ionashiro (2005), estas técnicas permitem obter informações relevantes tais como: variação de massa, estabilidade térmica, pureza, ponto de fusão, ponto de ebulição, mudança de fase, transição vítrea, calores de transição, entre outros.

Para que uma técnica térmica seja considerada termoanalítica três critérios devem ser atendidos são eles: (1) uma propriedade física deve ser medida; (2) a medida deve ser expressa direta ou indiretamente em função da temperatura; (3) a medida deve ser executada sob um programa controlado de temperatura (IONASHIRO, 2005; MATOS; MERCURI; ARAUJO, 2009).

3.4.1 Análise Térmica (TA)

Mackenzie (1979) definiu análise térmica como: “um grupo de técnicas em que uma propriedade física de uma substância e/ou produtos de reação é medida como função da temperatura, enquanto a substância é submetida a um programa controlado de temperatura”.

A análise térmica fornece informações que podem ser aplicadas tanto no controle de matéria-prima, como também no produto acabado, apresentando potencial de utilização no desenvolvimento e caracterização de novos produtos, e na avaliação dos processos produtivos

(SILVA; PAOLA; MATOS, 2007). No entanto, a aplicação de apenas uma única técnica de análise térmica não é suficientemente eficaz, sendo necessário associar duas ou mais técnicas termoanalíticas para obter informações suficientes sobre um dado sistema.

De acordo com Macêdo (1996), a implementação da análise térmica na indústria farmacêutica aparece como um método analítico, qualitativo e comparativo, capaz de produzir resultados rápidos e reprodutíveis, visando à análise global da qualidade tecnológica de medicamentos.

Na análise térmica, as técnicas mais comumente utilizadas nas áreas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico são Termogravimetria (TG), Análise Térmica Diferencial (DTA), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Análise Termomecânica (TMA) (FARMACOPEIA BRASILEIRA, 2010; IONASHIRO, 2005; MATOS; MERCURI; ARAUJO, 2009; WENDLANDT, 1986). A TG, DTA e DSC são ferramentas amplamente empregadas para avaliar as mudanças ocorridas na estrutura dos fármacos quando estes são submetidos ao calor (SOUZA, 2011), sendo TG e DTA técnicas muito adequadas para a caracterização de plantas fitoterápicas, uma vez que as mesmas são técnicas de alta sensibilidade, reprodutibilidade e resposta rápida na identificação de variações de massa e entalpia, fornecendo resultados relacionados à composição e estabilidade térmica da amostra (CORREIA et al., 2015; GUIMARÃES et al. 2017).

3.4.2 Análise Térmica Aplicada a Drogas Vegetais

Diversos estudos da aplicação de análise térmica para a caracterização de matérias-primas vegetais são relatados na literatura. Alguns dos quais descritos a seguir:

Aragão et al. (2002) realizaram estudo da aplicação da TG no controle de qualidade da milona (*Cissampelos sympodialis*). Para eles a TG constitui-se como uma poderosa ferramenta nos estudos tecnológicos para padronização das matérias-primas vegetais, uma vez que utiliza pequena quantidade de amostra, rapidez de resultados e a limpeza da técnica.

No estudo realizado por Araújo et al. (2006) para determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica, obteve-se resultados satisfatórios ao comparar as metodologias aplicadas, uma vez que ambas apresentaram resultados semelhantes de umidade e cinzas totais. No entanto, embora o custo de uma análise pelo método termogravimétrico ser mais elevado em comparação ao método convencional, ele apresenta maior eficiência, apreciável potencial na obtenção de parâmetros tecnológicos e controle de qualidade.

Em um estudo termoanalítico comparativo com métodos oficiais, realizado para observar o comportamento térmico de amostras de café *in natura*, café torrado e café solúvel, no qual a TG foi utilizada para determinar o teor de umidade e cinzas destas amostras de cafés, os resultados não mostraram diferenças significativas entre os dados obtidos pelos métodos convencionais comparados com os de TG. Neste estudo, verificou-se ainda a grande semelhança entre as curvas TG, DTG (Termogravimetria Derivada) e DSC entre os cafés *in natura* e torrado, contudo, as curvas do café solúvel não apresentaram semelhança com as curvas das demais amostras de cafés analisadas, pois o mesmo passa por um processo relativamente complexo e com tratamento térmico (PEREIRA; SCHNITZLER; CARVALHO FILHO, 2005).

Técnicas de análise térmica foram empregadas para avaliar o comportamento térmico do óleo extraído de sementes de Nim Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss), sendo a TG utilizada para avaliar a estabilidade térmica do óleo de Nim e o processo de decomposição térmica deste óleo. Os resultados obtidos no estudo mostraram que o óleo da semente de Nim quando comparado a óleos comerciais apresentou menor estabilidade térmica, todavia, elevada resistência a processo de auto-oxidação (BENÍCIO; QUEIROGA NETO; SOUSA, 2010).

Brandão et al. (2016) desenvolveram um modelo analítico para caracterização de drogas vegetais obtidas de melão-de-são-caetano (*Momordica charantia*) em diferentes tamanhos de partículas usando diferentes métodos analíticos. No modelo desenvolvido a TG e DTA foram utilizadas para avaliar parâmetros térmicos e cinéticos.

As técnicas TG e DTA foram utilizadas em extratos secos de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) para caracterizar e avaliar a compatibilidade destes extratos quando misturados com excipientes farmacêuticos. O estudo térmico do extrato seco revelou um perfil térmico definido com reprodutibilidade, podendo aplicá-lo na caracterização de extratos secos padronizados. Os resultados das curvas TG e DTA indicaram uma possível interação do extrato seco com a maltodextrina, mas não mostraram incompatibilidade térmica entre o referido extrato e os demais excipientes testados (LEITE et al., 2017).

Cuínica e Macêdo (2018) em estudo da espécie *Urtica dioica* L., empregado no combate de alergias respiratórias, usaram esta planta como matéria-prima para desenvolvimento de tecnologia de medicamentos fitoterápicos, utilizando técnicas de TG, DTA e outras técnicas analíticas na caracterização das amostras desta planta.

Além disso, a aplicação de análise térmica para caracterização e determinação de parâmetros cinéticos de drogas vegetais, a partir das curvas termogravimétricas dinâmicas,

utilizando o modelo de Ozawa, tem mostrado resultados promissores para o estudo de plantas medicinais.

Diante do exposto, entendemos que a utilização destas técnicas para o estudo das sementes de *C. jamaru* permitirá o acesso ao perfil termoanalítico das sementes desta espécie, constituindo-se como uma importante ferramenta que auxiliará na compreensão das características físico-químicas das mesmas.

3.5 Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais, PCA (do inglês *Principal Component Analysis*) constitui-se como uma das técnicas estatísticas multivariadas mais empregadas para análise de dados em diversas áreas do conhecimento devido à capacidade de compilar dados em função da existência de correlação entre diversas variáveis medidas. Esta técnica proporciona a análise de dados evidenciados de forma reduzida, possibilitando a demonstração de resultados similares ou diferentes entre amostras em um determinado conjunto de dados, eliminando sobreposições e proporcionando meios mais representativos destes dados, a partir de combinações de eixos das variáveis originais (SOUSA et al., 2006).

A finalidade básica da PCA é a redução de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais. Matematicamente, a PCA decompõe uma matriz de dados X em um produto de duas matrizes, sendo uma de *scores* (T) e uma de *loadings* (P), mais uma matriz de erros (E), ou seja, $X=TP^T+E$. Os *scores* (escores) são os valores dos componentes principais (PCs), ou seja, são as novas coordenadas de cada composto no novo sistema de eixos, enquanto os *loadings* (pesos) fornecem informação de quanto cada descritor original contribui para uma determinada PC (SOUZA; POPPI, 2012).

A PCA é um método exploratório capaz de transformar dados complexos e demonstrá-los de forma clara e evidente, possibilitando separar a informação importante da redundante, permitindo a interpretação dos resultados visualizados através de gráficos que auxiliam na identificação de agrupamentos. Através de gráficos de *scores* e *loadings* é possível investigar as relações entre amostra e variáveis, sendo imprescindível o estudo conjunto destes gráficos para avaliar a influência de cada variável em cada amostra (PANERO et al., 2009; SENA et al., 2000).

Sendo a PCA uma ferramenta estatística, útil para o reconhecimento de padrões nos conjuntos de informações investigados em análise de dados de natureza multivariada, constitui-se como um método adequado para o estudo de diferenciação e classificação de

amostras vegetais de *C. jamaru*, podendo também ser utilizado para se obter informações relevantes sobre o potencial fitoterápico desta planta.

Alguns exemplos da aplicação da PCA ao estudo de espécies vegetais são relatados na literatura e descritos a seguir:

Yamaguchi et al., (2011) em estudo com várias espécies de *Piper* (família Piperaceae) utilizaram ressonância magnética nuclear de hidrogênio (RMN ^1H) e espectrometria de massas por ionização *eletrospray* (ESIMS) combinadas com PCA para análise do perfil metabólico de extratos brutos destas espécies, visando a determinação de variabilidade química entre as mesmas. A PCA, baseado em dados de RMN ^1H ou ESIMS, mostrou que algumas espécies de *Piper* contendo lignóides e uma contendo cromeno apresentaram distinção no perfil metabólico.

No estudo realizado por Guimarães et al., (2017), utilizando técnicas analíticas e estatísticas (PCA e HCA) com a espécie *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz, conhecida como "catingueira", através da aplicação da PCA aos dados da pirólise obtidos do pó das folhas desta espécie, em diferentes tamanhos de partículas submetidas a diferentes temperaturas, revelou diferenças entre as faixas granulométricas. Segundo o estudo a análise multivariada PCA e HCA, parece ser uma ferramenta útil para a diferenciação e classificação de amostras de drogas vegetais, sendo a combinação de técnicas analíticas e estatísticas capazes de traçar perfis característicos para as mesmas.

Mibei et al., (2018), em estudos de metabolômica para determinação do efeito do estresse hídrico na composição de metabólitos da espécie *Solanum aethiopicum* L. (beringelas africanas), em diferentes estágios de desenvolvimento, aplicaram técnicas analíticas (cromatografia gasosa com espectrômetro de massa) e PCA. Os resultados obtidos na PCA revelaram uma diferenciação entre as amostras dos diferentes acessos, estágios de crescimento e condições de estresse/controle.

Falco et al. (2017) investigaram o perfil metabólico de sementes de *Salvia hispanica* L. (chia) usando espectroscopia de RMN e análise multivariada (PCA e Quimiometria). Segundo os autores, os resultados foram os seguintes: quantitativamente, a PCA fundamentada nos dados de RMN ^1H das frações apolar e aquosa produziu resultados opostos, referente as populações de chia, tendo a fração apolar revelado uma certa similaridade entre as sementes estudadas com boa disposição dos sinais referentes aos carboidratos. Nas frações polares, a PCA separou claramente as amostras, revelando diferenças significativas dos sinais relativos aos carboidratos para esta espécie, sendo os genótipos pretos mais ricos em carboidratos em relação aos genótipos de floração precoce e branco avaliados na pesquisa.

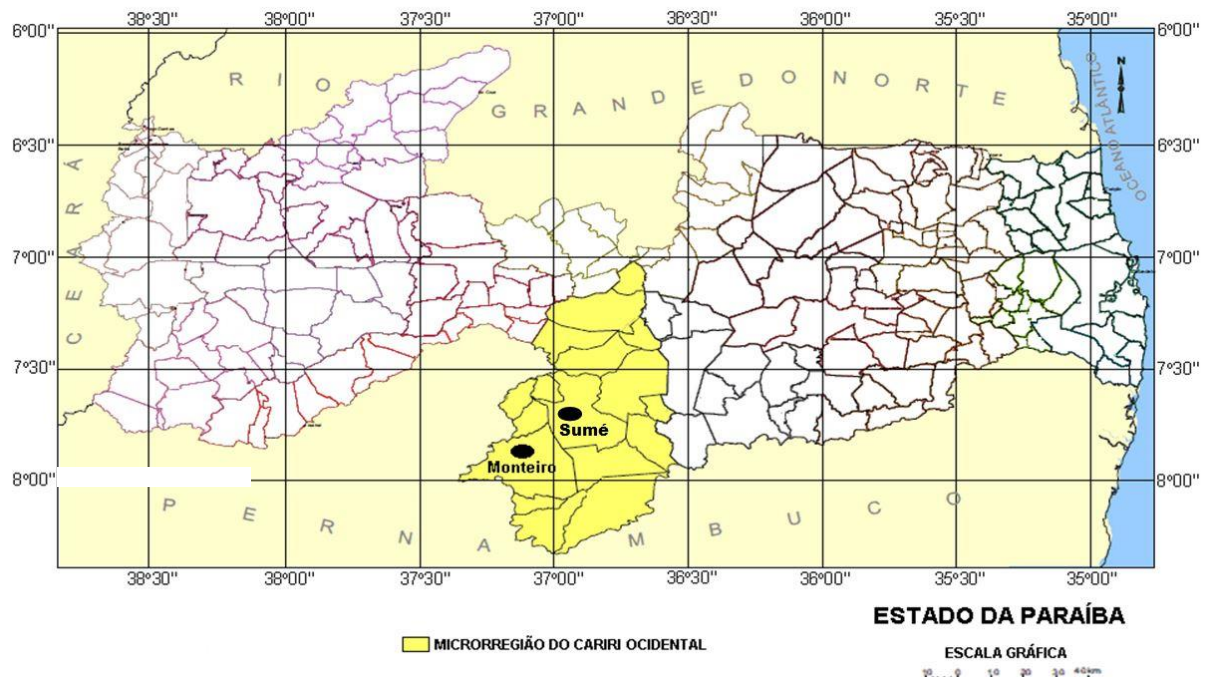
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A pesquisa teve como campo de investigação do período reprodutivo e coleta de frutos de *C. jamaru*, os municípios de Sumé e Monteiro, inseridos na microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. O município de Sumé se encontra entre as coordenadas geográficas 07°40'18" de Latitude Sul e 36°52'48" Longitude Oeste, e a cidade de Monteiro, por sua vez, está localizada entre as coordenadas geográficas 07°53'22" de Latitude Sul e 37°07'12" Longitude Oeste (Figura 3).

O Cariri Paraibano está incluído na ecorregião de Depressão Sertaneja Setentrional, com predominância de solos brunos não cálcicos, embora também sejam comuns solos litólicos eutróficos, jovens ou pouco profundos e afloramento de rochas. Apresenta clima quente e semiárido, com precipitação de 350 mm/ano (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002).

Figura 3 - Localização dos municípios de Sumé e Monteiro na microrregião do Cariri Ocidental, Semiárido Paraibano



Fonte: Adaptado de Gomes et al. (2016)

De acordo com dados oficiais do IBGE (2010), a população de Sumé no último Censo era estimada em 16.060 habitantes e densidade demográfica 19,16 hab/Km². Com área territorial de 838,070 km², o município se encontra a 532 m de altitude e está a 260 km da Capital João Pessoa. A cidade de Monteiro, por sua vez, segundo dados do Censo do referido Instituto, no ano de 2010, apresentava uma população estimada em 30.852 habitantes e densidade demográfica 31,28 hab/Km². Sua área territorial é de 986,356 Km² (é o maior município do estado da Paraíba em área territorial), encontra-se a 590 m de altitude e está situado a 296 Km da capital João Pessoa.

Os experimentos de caracterização biológica e produção vegetal desta espécie foram executados no Laboratório de Ecologia e Botânica – LAEB, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), Universidade Federal de Campina Grande, e no Viveiro para Produção de Mudanças Nativas e Estudos de Ecologia e Dinâmica da Caatinga (7°39'36,56"S e 36°53'33,21"W; 540 m de altitude) do referido Laboratório, limites municipais de Sumé.

4.1.1 Coleta de dados climáticos

Para melhor compreensão do comportamento da espécie *C. jamaru* foi realizado a caracterização física e climática dos dois ambientes em que a mesma está inserida, no período de monitoramento, processado através de dados pretéritos e atuais disponíveis em rede de postos de coleta climáticos e meteorológico nos municípios de Sumé e Monteiro, e correlacioná-los ao estudo biométrico de frutos e sementes produzidos no período da coleta.

4.2 Coleta e análise dos dados

O trabalho foi desenvolvido em cinco etapas: 1) Localização das matrizes no campo e coleta do material vegetal; 2) Caracterização biométrica de frutos e sementes; 3) Análises físico-químicas das sementes: testes de umidade e cinzas, e aplicação de técnicas termoanalíticas (Análise Termogravimétrica e Análise Térmica Diferencial); 4) Produção vegetal de *C. jamaru* (mudas em vasos) com substrato padronizado, condições de rega controladas, monitoramento diário da emergência e mensurações dos indivíduos produzidos aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias da emergência para o acompanhamento do desenvolvimento; 5) Análise de Componentes Principais.

As etapas 1, 2 e 4 correspondem à caracterização biológica e produção vegetal de *Cereus jamacaru* DC. (**Tópico 4.3**), sendo as etapas 2 e 4 conduzidas no Laboratório de Ecologia e Botânica – LAEB/CDSA/UFCG, e no Viveiro para Produção de Mudanças Nativas e Estudos de Ecologia e Dinâmica da Caatinga do referido laboratório, respectivamente. A etapa 3 referente às análises físico-químicas das sementes foram executadas no Laboratório de Química Analítica – CDSA/UFCG e nos Laboratórios Unificados de Desenvolvimento e Ensaios de Medicamentos (LUDEM), Departamento de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal da Paraíba, UFPB. A etapa 5 foi desenvolvida no Laboratório de Químioinformática da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

4.3 Caracterização biológica e produção vegetal de *Cereus jamacaru* DC.

4.3.1 Plantas Matrizes: localização e coleta de frutos

As observações no campo iniciaram-se no mês de dezembro de 2016, para o acompanhamento da fase reprodutiva de *C. jamacaru*. Para o estudo da espécie investigada dois ambientes foram localizados no Cariri Ocidental Paraibano, nos municípios de Sumé e Monteiro, nos quais as matrizes (M) foram identificadas por caminharmento e coletados frutos (Figura 4) para a realização do estudo, sendo Sumé (M1, M2 e M3) com frutos coletados em 25 de maio de 2017 e Monteiro (M4, M5 e M6) com frutos coletados em 14 de junho do mesmo ano. As plantas matrizes foram marcadas individualmente através de suas coordenadas geográficas, que para M1, M2 e M3 foram 7°37'40,61"S e 36°51'13,86"W, 567 m de altitude; 7°37'40,37"S e 36°51'14,07"W, 567 m de altitude e 7°37'38,81"S e 36°51'13,60"W, 567 m de altitude respectivamente, sendo M4, M5 e M6 as respectivas coordenadas: 7°54'15,86"S e 37°5'22,18"W, 597 m de altitude; 7°54'16,42"S e 37°5'21,17"W, 597 m de altitude; 7°54'14,89"S e 37°5'22,65"W, 597 m de altitude.

Dentre os locais de coleta dos frutos das matrizes estudadas, o que apresentou maior conservação foi a área onde estava localizada M5 (Figura 4A) e o de maior degradação foi a área que estava localizada M6 (Figura 4B).

Figura 4 - Coleta de frutos e identificação de matrizes de *C. jamaru*. (A) M5 localizada em área mais conservada; (B) Matriz 6 localizada em área mais degradada



Fonte: Acervo do próprio autor.

4.3.2 Caracterização biométrica de frutos e sementes de *C. jamaru*

Os experimentos de caracterização biométrica de frutos e sementes foram conduzidos no Laboratório de Ecologia e Botânica pertencente ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, em Sumé-PB nos meses de maio e junho 2017. Para as mensurações foram utilizados paquímetro digital Lotus Plus, com resolução de 0,01 mm e balança analítica (0,0001 g).

Os frutos quando coletados foram colocados em sacos identificando cada matriz e transportados ao laboratório para triagem dos frutos danificados e realização da higienização e sanitização mediante a imersão dos frutos em solução clorada por 15 minutos, utilizando

concentração de 250 ppm de hipoclorito de sódio a 2,5% (próprio para consumo). O hipoclorito de sódio a 2,0-2,5%, em concentração de 100 a 250 ppm, é um produto permitido para desinfecção de alimentos (SÃO PAULO, 1999). Decorrido o tempo de imersão foi feito o enxágue dos frutos com água destilada. Os frutos foram secos com papel toalha e identificados individualmente, sendo 12 frutos de M1, 31 frutos de M2, 9 frutos de M3, 12 frutos de M4, 10 frutos de M5 e 14 frutos de M6, totalizando 88 frutos (Figura 5).

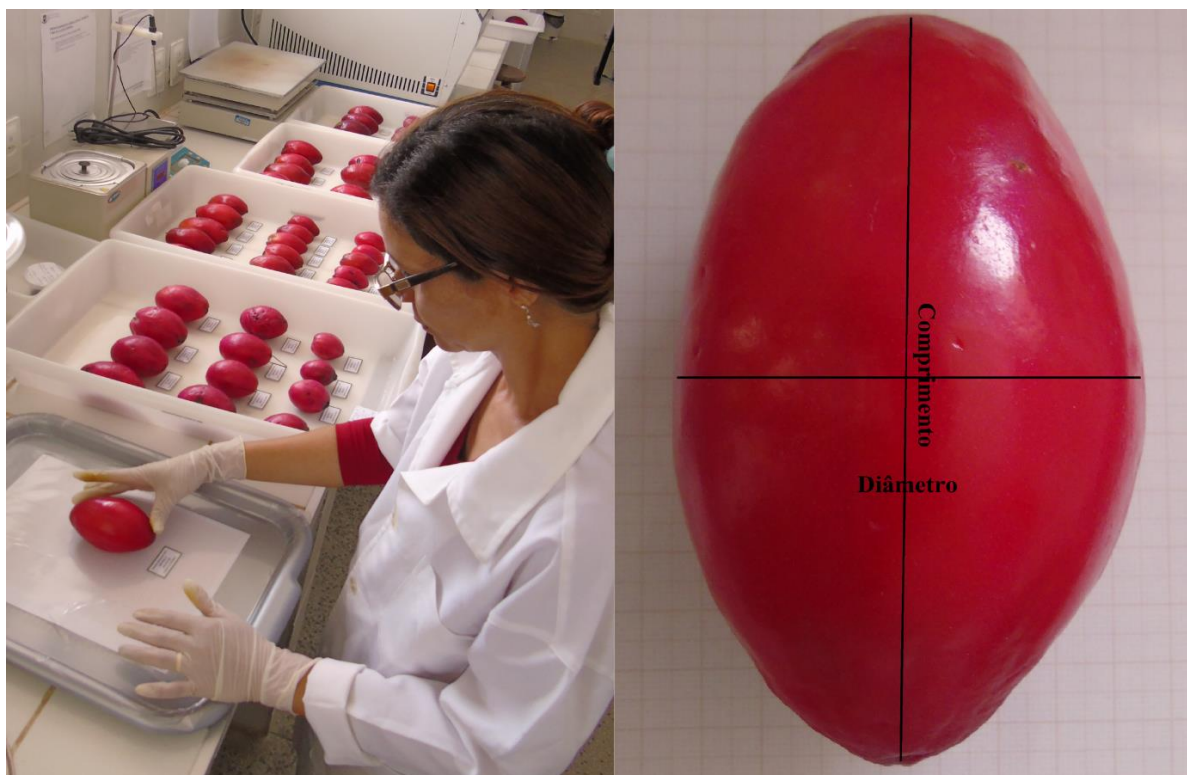
Figura 5 - Frutos higienizados, sanitizados e identificados para os ensaios biométricos. Frutos das matrizes coletadas: (A) Sumé; (B) Monteiro



Fonte: Acervo do próprio autor.

Em seguida, os frutos das seis matrizes foram utilizados para realização das determinações biométricas (comprimento e diâmetro dos frutos). Considerou-se como comprimento a região compreendida entre a base e o ápice, enquanto que o diâmetro foi medido na região intermediária do fruto (Figura 6). Essas determinações foram executadas através de medições diretas com auxílio do paquímetro digital. O peso fresco dos frutos foi determinado para todas as matrizes avaliadas em balança analítica de precisão.

Figura 6 - Mensurações dos frutos (comprimento e diâmetro)

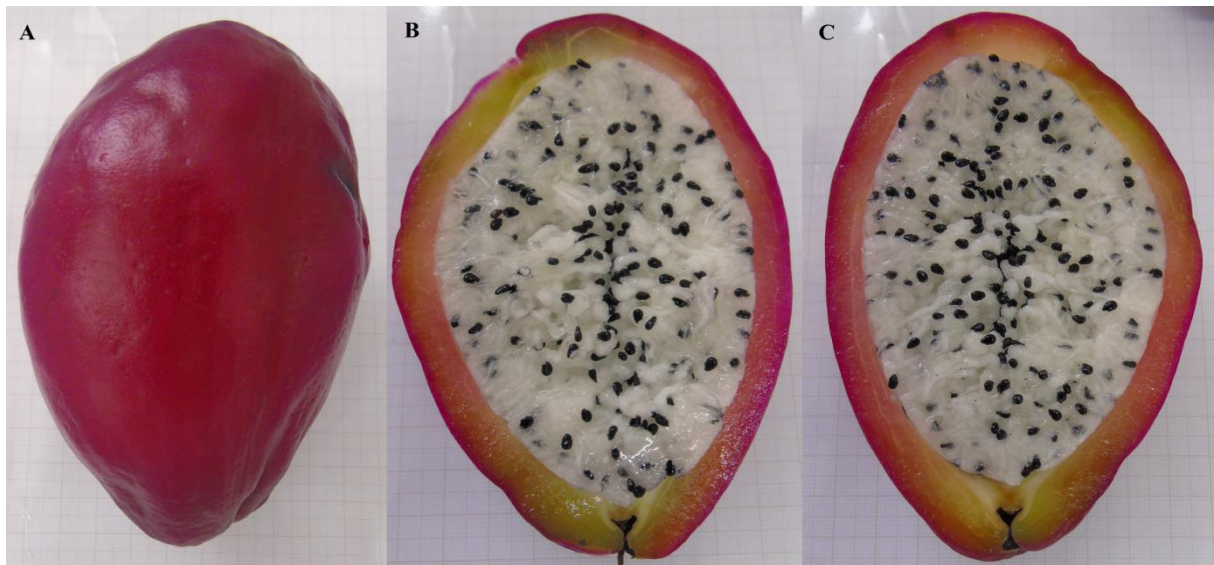


Fonte: Acervo do próprio autor.

Após a biometria dos frutos, iniciou-se o processo de beneficiamento das sementes dos frutos, sem uso de água. Durante este processo os frutos foram cortados no sentido do comprimento (Figura 7), a polpa branca do fruto foi removida o máximo possível com auxílio de peneira, porém sem danificar as sementes.

Com auxílio de espátulas as sementes foram transferidas para papel toalha para absorção do resto da polpa e remoção das fibras existentes nas mesmas, colocadas em placa de Petri semiabertas, com identificação por fruto e levadas ao dessecador por 24 horas, contadas as sementes por fruto, pesadas, armazenadas em recipientes plásticos, devidamente identificados e fechados na presença de sílica gel.

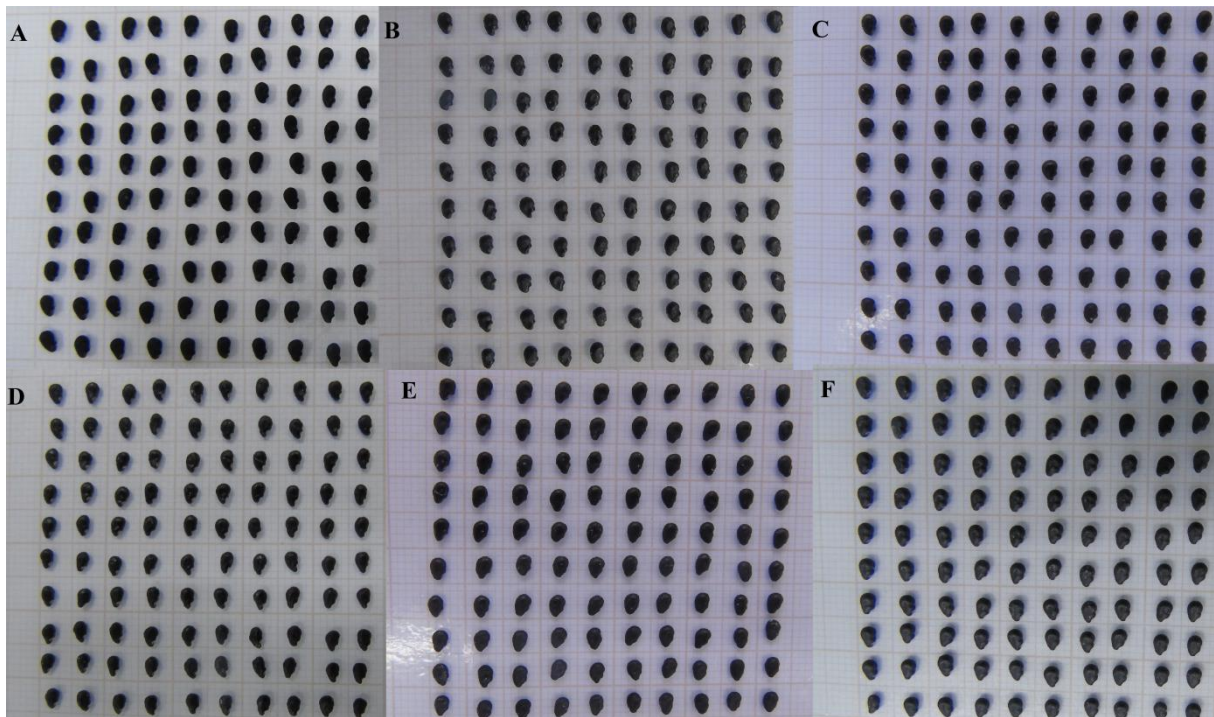
Figura 7 - Aspecto externo do fruto inteiro de *C. jamaru* (A) e as duas partes do mesmo fruto cortado no sentido do comprimento (B, C)



Fonte: Acervo do próprio autor.

A caracterização biométrica das sementes foi realizada logo após o armazenamento e acondicionamento das mesmas. Para biometria das sementes foram utilizadas amostras composta por 100 sementes de cada matriz avaliada (Figura 8).

Figura 8 - Biometria das sementes das plantas matrizes coletadas: amostragem (A) M1; (B) M2; (C) M3; (D) M4; (E) M5; (F) M6



Fonte: Acervo do próprio autor.

As mensurações para dimensões (comprimento, largura e espessura das sementes) foram executadas com paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, onde o comprimento foi considerado como a maior distância entre as extremidades, a largura como a região intermediária da semente e a espessura como a distância entre os centros. As sementes foram pesadas individualmente, em balança analítica com precisão de 0,0001 g para determinação da massa fresca por semente, usando-se 100 sementes por matriz.

4.3.3 Pré-teste – superação de dormência

As sementes da matriz 2 (M2) foram submetidas aos seguintes tratamentos (T):

a. Choque térmico

(T1) Testemunha – sementes intactas;

(T2) Imersão em água na temperatura de 70°C/1 minuto, em seguida as sementes foram submetidas a uma temperatura de 0°C/1 minuto, e imediatamente plantadas;

(T3) Imersão em água na temperatura de 80°C/1 minuto, em seguida as sementes foram submetidas a uma temperatura de 0°C/1 minuto, e imediatamente plantadas;

(T4) Imersão em água na temperatura de 90°C/1 minuto, em seguida as sementes foram submetidas a uma temperatura de 0°C/1 minuto, e imediatamente plantadas;

b. Embebição

(T1) Testemunha – sementes intactas;

(T2) Embebição em água a temperatura ambiente durante 12 horas;

(T3) Embebição em água a temperatura ambiente durante 24 horas;

(T4) Embebição em água a temperatura ambiente durante 48 horas;

Para o pré-teste com M2, utilizou-se 20 sementes para o choque térmico (quatro tratamentos) e 20 sementes para a embebição (quatro tratamentos) após os tratamentos as sementes foram semeadas em bandejas contendo substrato de areia lavada e organizadas em quadrantes (cinco sementes por quadrante) para cada tratamento. Os experimentos foram desenvolvidos em ambiente protegido (viveiro), com entrada de água controlada (200 mL por quadrante) e monitoramento diário. O número de plântulas emersas foi registrado a partir do

surgimento das primeiras plântulas até a estabilização das mesmas. O experimento foi desativado com 30 dias após sua implantação, realizando-se as mensurações de comprimento e diâmetro das plântulas com o auxílio de paquímetro, seguido do transplântio imediato das mesmas para sacos contendo substrato composto por barro, esterco e areia (proporção 1: 2: 3).

4.3.4 Experimento em vasos com as Matrizes 1, 2, 3, 4, 5 e 6

4.3.4.1 Preparação dos vasos e do substrato

Para o experimento foram utilizados vasos com capacidade de 8 L, medindo 24 cm de diâmetro superior, 17 cm de diâmetro inferior e 24,5 cm de altura, padronizados com furos no fundo (dispostos um no centro e um em cada extremidade do quadrante) e projetados nas quatro laterais do vaso, sendo três furos em cada lateral. O substrato usado foi preparado com auxílio de betoneira na seguinte composição: barro, esterco e areia na proporção 1: 2: 3, respectivamente (Figura 9). Colocou-se o substrato nos vasos, o qual foi mantido úmido até o momento da sementeira. Foram empregados 120 vasos para o experimento (20 vasos para cada matriz).

Figura 9 - Preparação do substrato e colocação do mesmo nos vasos



Fonte: Acervo do próprio autor.

4.3.4.2 Tratamento de embebição e plantio das sementes

De cada matriz, 80 sementes foram submetidas a tratamento de embebição em água a temperatura ambiente durante 48 horas. Decorrido o tempo de tratamento, procedeu-se a implantação do experimento dia 23 de outubro 2017 com a semeadura nos vasos da seguinte forma:

1. Os vasos, agrupados em canteiro do viveiro medindo 1 x 4 m, com sombreamento de 50 %, foram identificados e umidificados até o momento da semeadura;
2. Placas plásticas padronizadas com capacidade de plantio de quatro sementes por vaso (Figura 10), dimensões 6 x 6 cm, com uma perfuração em cada extremidade, foram posicionadas no centro do vaso;
3. Abertura dos berços e acomodação das sementes (quatro sementes por vaso);

Figura 10 - Padronização da semeadura de *Cereus jamacaru* DC. nos vasos



Fonte: Acervo do próprio autor.

4. Marcação com palito de madeira da localização dos berços contendo as sementes, remoção da placa plástica, fechamento do berço com substrato e execução da primeira rega com auxílio pulverizador; posteriormente os palitos de madeira foram substituídos por material plástico, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Substituição dos palitos de madeira por material plástico



Fonte: Acervo do próprio autor.

4.3.4.3 Rega, monitoramento da germinação, desenvolvimento e crescimento

Uma rega diária (Figura 12), com entrada de água controlada (250 mL/vaso) através da utilização de um pulverizador (capacidade 5L ou 7L), exceto nos dias chuvosos com volume de chuvas acima de 5,0 mm (chuva monitorada através de pluviômetro instalado no viveiro). A faixa de horário da rega: início entre 6 às 7 horas e término entre 8 às 9 horas, com duração média de 2 horas, utilizando o pulverizador de 5L (para o pulverizador de 7L a duração média de rega é de 1 hora e 40 minutos. O tempo de rega diminui pela metade com utilização de dois pulverizadores). Após dois meses do início da emergência, as regas

passaram a ser feitas com uso recipiente com volume fixo de 250 mL até o término do experimento.

Figura 12 - Rega diária com entrada de água controlada (250 mL/vaso)



Fonte: Acervo do próprio autor.

O monitoramento da emergência foi diariamente executado após a rega, com registro da data de emergência de cada semente semeada e observações diversas. O desenvolvimento e crescimento das plântulas foram acompanhados, individualmente e mensalmente em relação à data de emergência de cada plântula. As mensurações (altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo) foram conduzidas com auxílio de régua graduada 50 cm e paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm.

4.3.4.4 Retiradas de indivíduos juvenis para avaliação

Foram realizadas três retiradas dos indivíduos juvenis produzidos da espécie em estudo para avaliação durante a fase de desenvolvimento nos períodos pré-determinados de: três, quatro e meio e seis meses da semeadura. Os indivíduos foram removidos do vaso com auxílio de espátula apropriada, sendo o excesso de substrato extraído com pincel seco, em seguida a limpeza minuciosa das raízes foi executada com auxílio de pincel úmido e usou-se papel toalha para secar bem as raízes. Efetivaram-se com uso de régua graduada de 50 cm e

papel milimetrado as mensurações de altura (parte aérea) e comprimento (parte radicular); com paquímetro digital (resolução de 0,01 mm), as medidas de diâmetro ao nível do solo; e, com balança analítica digital com precisão de 0,0001 g, realizou-se a mensuração de massa fresca.

4.4 Análises físico-químicas das sementes

Os ensaios para determinação dos teores de umidade e cinzas pelos métodos convencionais com adaptações foram executados no Laboratório de Química Analítica do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido – CDSA/UFCG.

A Análise Térmica foi realizada nos Laboratórios Unificados de Desenvolvimento e Ensaios de Medicamentos (LUDEM), Departamento de Ciências Farmacêuticas, Federal Universidade de Paraíba, UFPB.

4.4.1 Determinação dos teores de umidade e cinzas pelos métodos convencionais adaptados

Determinação do teor de umidade. A umidade das sementes de *C. jamaçaru* foi determinada segundo adaptação da metodologia **012/IV Perda por dessecação (umidade) – Secagem direta em estufa a 105 °C**, descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Para determinação da umidade, utilizou-se sementes no mesmo estágio de maturação ($\cong 2$ g) por amostra, para 06 (seis) matrizes diferentes. Utilizando balança analítica (0,0001 g), as amostras foram pesadas em cápsulas de porcelana, previamente calcinadas, taradas e mantidas em dessecador até o uso, quando as amostras foram conduzidas ao aquecimento em estufa à temperatura de 105 ± 3 °C por 3 horas. Depois foram arrefecidas à temperatura ambiente em dessecador e submetidas à nova pesagem com repetição do procedimento até a obtenção do peso constante.

Determinação do teor de cinzas. Esta análise foi determinada segundo modificação na metodologia **018/IV Resíduo por incineração** – Cinzas, descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

Para determinação do teor de cinzas, as amostras foram submetidas à calcinação em manta aquecedora, no entanto, com o aquecimento as sementes pularam dos cadinhos, então se repetiu o experimento sem o uso da manta, submetendo 2 g (em média) das amostras a incineração diretamente em mufla a 550-600 °C, com cadinhos devidamente tampados, previamente calcinados e tarados. Após 1h as amostras foram retiradas da mufla, resfriadas

em dessecador, pesadas em balança de precisão analítica (0,0001 g) e retornadas a mufla, com repetição do procedimento até peso constante das mesmas. Após atingir peso constante as amostras foram submetidas a uma temperatura final de 800 °C.

4.4.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

Para avaliar o perfil da decomposição e da estabilidade térmica de sementes trituradas de seis matrizes de *C. jamaru* foi realizada a determinação de curvas Termogravimétricas dinâmicas obtidas a partir de análise em termobalança, modelo TGA-50, Shimadzu (Figura 13), na razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹ variando de 25 °C até temperatura de 900 °C. Utilização de atmosfera de ar sintético com fluxo de 20 mL min⁻¹. As curvas também foram determinadas em fluxo de nitrogênio de 50 mL min⁻¹ na razão de aquecimento de 10 °C/min. Para esta análise foram utilizadas 5,00 ± 0,05 mg de massa de cada amostra, em cadinho de alumina, como porta-amostra. Para a análise gráfica dos dados obtidos utiliza-se o software TASY WS 60, Shimadzu, para caracterizar a perda de peso por etapas. As curvas TG foram plotadas usando o Origin Pro 8.0 (OriginLab Research).

Figura 13 - Shimadzu termobalança, modelo TGA-50, acoplada ao sistema de ventilação e ao computador



Fonte: Acervo do próprio autor.

4.4.3 Determinação da Cinética de degradação

A cinética de degradação das sementes de *C. jamacaru* foi obtida utilizando curvas termogravimétricas determinadas em atmosfera de ar sintético (20 mL min^{-1}) sob razões de aquecimento de 5, 10, 20 e $40 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$. Com base nos dados obtidos das curvas termogravimétricas, usou-se o modelo Ozawa para determinar os parâmetros cinéticos, ordem de reação (n), fator de frequência (A) e energia de ativação (E_a). Para a determinação desses parâmetros, utilizou-se o software TA-60WS, Shimadzu.

4.4.4 Análise Térmica Diferencial (DTA)

Os ensaios de Análise Térmica Diferencial (DTA), para as amostras de sementes das matrizes da espécie em estudo, foram conduzidos em um analisador térmico diferencial, DTA-50, Shimadzu (Figura 14), a uma taxa de aquecimento de $10 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, variando de 25°C a uma temperatura de $900 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sob uma atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL min^{-1} . As amostras devidamente colocadas em um cadinho de alumina (massa de cada amostra analisada $5,00 \pm 0,05 \text{ mg}$). As curvas térmicas diferenciais foram analisadas utilizando o programa TASY 60, Shimadzu. As curvas de DTA foram plotadas usando o Origin Pro 8.0 (OriginLab Research).

Figura 14 - Analisador Térmico Diferencial, DTA-50, Shimadzu



Fonte: Acervo do próprio autor.

4.5 Aplicação do método de Análise de Componentes Principais

Utilizou-se, inicialmente, o programa Microsoft Office Excel 2007 para confecções de planilhas de monitoramento dos experimentos realizados e tratamento dos dados originais (brutos) coletados ao longo do estudo de *C. jamacaru*.

A análise multivariada dos dados através da aplicação da PCA foi realizada utilizando os dados experimentais obtidos dos ensaios biométricos de frutos e sementes de *C. jamacaru*, análise térmica das sementes e da produção vegetal desta espécie, com a finalidade de observar se plantas matrizes de *C. jamacaru* originam frutos, sementes, e indivíduos juvenis com variabilidade ou similaridade entre as plantas matrizes avaliadas.

Na PCA da biometria de frutos e sementes, consideraram-se as seguintes variáveis: para os frutos foram número de frutos coletados para cada matriz da espécie em estudo, plantas matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6), local de coleta (Sumé e Monteiro), comprimento, diâmetro e massa (APÊNDICE A); para as sementes foram lotes com 100 sementes para cada M, plantas matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6), local de coleta (Sumé e Monteiro), comprimento, largura, espessura e massa (APÊNDICE B).

Executou-se a PCA para análise térmica com dados extraídos da TG (fluxo de ar sintético) nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40 °C min⁻¹ (APÊNDICE C).

Para o experimento da produção vegetal, durante o período de monitoramento (início da emergência até seis meses dos indivíduos gerados nos primeiros 30 dias da implantação do experimento, totalizando sete meses de observação), realizou-se uma PCA geral com os dados experimentais da produção vegetal da espécie estudada, levando-se em consideração todos os parâmetros avaliados (descritores), os quais foram: número de indivíduos monitorados, plantas matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6), local de coleta (Sumé e Monteiro), tempo das medidas, altura da parte aérea, diâmetro ao nível do solo, número de emergência por planta matriz, mortalidade e dias para emergir de cada semente (APÊNDICE D).

Na análise multivariada, os dados originais brutos, coletados experimentalmente neste estudo (biometria de frutos e sementes, análise térmica das sementes e produção vegetal de *C. jamacaru*) foram importados em formato ASCII usando o pacote estatístico Unscrambler ver. 9.7 (Camo Software AS, 1986-2007), em seguida, realizou-se o processo de normalização através do autoescalamento, onde se centram os dados na média e divide-se cada um pelo desvio padrão, de forma que todas as variáveis passam a ter a mesma importância, ou seja, o mesmo peso. Finalmente, submetem-se os dados já normalizados à PCA.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultado da caracterização biológica e produção vegetal de *Cereus jamacaru* DC.

5.1.1 Avaliação da caracterização biométrica de frutos e sementes de *C. jamacaru*

As matrizes (M) apresentaram variabilidade biométrica nas mensurações dos frutos (Tabela 1). Das seis matrizes M5, localizada em Monteiro, foi a que apresentou o fruto com a maior massa máxima (419,32 g), sua mínima foi de 136,09 g, e o maior número de sementes por fruto ($2767,3 \pm 1104,61$), variando entre 1032-4057 sementes. A massa mínima (54,34 g) foi aferida do fruto de M1 localizada no município de Sumé.

Tabela 1 - Medidas de massa fresca, comprimento e diâmetro de frutos das matrizes de *C. jamacaru* e número de sementes por fruto (média $\pm$ desvio padrão; máximo e mínimo)

Fruto	Massa fresca (g)	Comprimento	Diâmetro	Sementes/fruto
		mm		
Matriz 1	139,23 ± 56,74	79,20 ± 14,40	57,07 ± 8,15	1425,70 ± 776,34
Matriz 2	154,24 ± 61,93	92,50 ± 14,15	56,38 ± 8,84	1430,40 ± 863,57
Matriz 3	203,02 ± 55,01	95,50 ± 13,51	64,20 ± 8,37	1764,40 ± 757,21
Matriz 4	151,41 ± 52,77	92,80 ± 14,19	56,80 ± 8,26	1884,00 ± 1082,24
Matriz 5	278,45 ± 83,96	99,80 ± 11,23	74,11 ± 7,64	2767,30 ± 1104,61
Matriz 6	175,50 ± 71,72	92,30 ± 14,32	61,94 ± 9,18	1234,20 ± 817,51
Máximo				
Matriz 1	222,55	100,2	69,9	2443
Matriz 2	265,12	111,5	69,5	2483
Matriz 3	244,80	111,0	71,4	2483
Matriz 4	219,12	108,6	68,4	2905
Matriz 5	419,32	118,0	85,0	4057
Matriz 6	316,28	119,6	78,2	2851
Mínimo				
Matriz 1	54,34	55,3	43,1	340
Matriz 2	58,69	69,0	40,5	349
Matriz 3	67,23	67,0	43,6	349
Matriz 4	54,45	63,0	42,3	196
Matriz 5	136,09	79,4	58,8	1032
Matriz 6	81,87	79,7	47,4	341

Fonte: Dados da pesquisa.

A avaliação biométrica de frutos e sementes, desde que executada de forma criteriosa, constitui-se como uma importante ferramenta para o estudo das espécies vegetais, uma vez que os padrões biométricos de espécies vegetais podem ser influenciados pelo meio biofísico em que estejam sujeitadas (BEZERRA et al., 2014).

Almeida et al. (2009) também observaram variação no peso e tamanho de frutos de mandacaru oriundos de dois municípios do estado da Paraíba, Queimadas e Lagoa Seca. Segundo os autores as variações observadas para os frutos de mandacaru ocorreram devido às diferentes condições climáticas dos dois locais estudados, sendo que os maiores valores encontrados foram observados nos frutos coletados em Queimadas. As variações biométricas observadas para os frutos das matrizes de Sumé e Monteiro podem estar relacionadas a fatores climáticos e ambientais dos locais de coleta.

Na Tabela 2 estão dispostos dados oficiais da AESA sobre a precipitação máxima observada nos anos de 2016 (ano inicial das observações no campo para acompanhar o comportamento da espécie estudada), 2017 (ano do acompanhamento da sua fenologia, coleta de frutos, implantação e monitoramento da produção vegetal) e 2018 (período de monitoramento das plantas juvenis até mês de maio do referido ano) nos municípios de Sumé e Monteiro.

Tabela 2 - Precipitação máxima dos municípios de Sumé e Monteiro nos anos de 2016, 2017 e 2018 (até outubro do ano em curso)

Ano	Município	Observada (mm)	Climatologia (mm)	Desvio (%)	Desvio (mm)
2016	Sumé	520,4	825,5	-37,0	-305,1
	Monteiro	450,4	N.I*	N.I*	N.I*
2017	Sumé	340,4	825,5	-58,8	-485,1
	Monteiro	560,8	N.I*	N.I*	N.I*
2018	Sumé	369,5	584,9	-36,8	-215,4
	Monteiro	426,3	N.I*	N.I*	N.I*

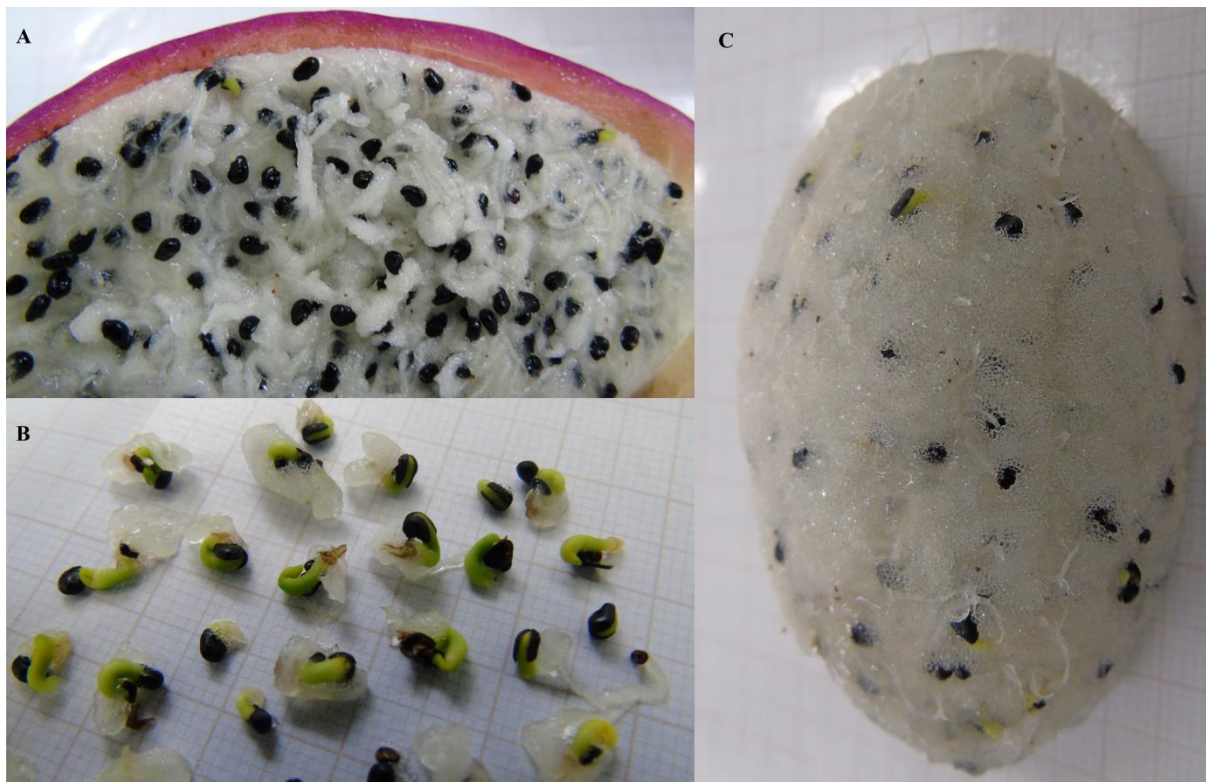
*N.I: Não informado.

Fonte: AESA, 2018.

Durante o processo de beneficiamento das sementes dos frutos, na fase do despulpamento, verificou-se que alguns frutos apresentaram sementes germinadas em seu interior (Figura 15). Ao abrir os frutos a partir do décimo dia após terem sido coletados

observou-se que alguns continham sementes germinadas em seu interior, isso ocorreu em alguns frutos das matrizes 2 e 3 (coleta 21/05/2017). Todos os frutos despulpados com menos de dez dias da coleta não apresentaram sementes no estágio germinativo.

Figura 15 - Processo germinativo no interior do fruto. (A) Fruto cortado com sementes germinadas no interior; (B) Sementes germinadas removidas do fruto; (C) Fruto com casca removida expondo a polpa com sementes germinadas



Fonte: Acervo do próprio autor.

De acordo com Abud et al. (2013), as sementes de *Cereus jamacaru* DC. não apresentam dormência e havendo disponibilidade de água estão aptas para germinação. Em sua pesquisa, observou-se que as sementes dessa espécie apresentam germinação epígea e fanerocotiledonar. Em nosso estudo, as sementes germinadas observadas no interior dos frutos apresentaram morfologia condizente com a constatação do autor.

A Figura 15A mostra um fruto que apresentou sementes germinadas em seu interior no momento da abertura, as sementes germinadas que foram removidas do fruto estão dispostas na Figura 15B, enquanto que a Figura 15C mostra o fruto sem a casca com sementes germinadas na superfície da polpa. A germinação da semente ainda dentro do fruto de *C. jamacaru* indica que este processo ocorre naturalmente em decorrência do tempo de exposição do fruto as condições do ambiente desencadeando, assim o processo germinativo.

As sementes que germinaram dentro do fruto apresentaram estágios diferentes de desenvolvimento, sendo as sementes consideradas germinadas após protrusão da radícula, considerando-se este como estágio inicial da germinação.

Todas as sementes extraídas dos frutos foram contadas por fruto, inclusive as sementes germinadas.

Na Tabela 3 estão dispostos os resultados obtidos para biometria da semente de *C. jamaru* após o processo de beneficiamento.

Tabela 3 - Medidas de comprimento, largura, espessura e massa fresca de sementes das Matrizes de *C. jamaru* M1, M2, M3, M4, M5 e M6 (média $\pm$ desvio padrão; máximo e mínimo)

Sementes	Massa Fresca (mg)	Comprimento	Largura	Espessura
			(mm)	
Matriz 1	3,54 $\pm$ 0,53	3,11 $\pm$ 0,01	1,93 $\pm$ 0,08	1,19 $\pm$ 0,07
Matriz 2	3,20 $\pm$ 0,41	2,89 $\pm$ 0,09	1,93 $\pm$ 0,08	1,20 $\pm$ 0,05
Matriz 3	3,29 $\pm$ 0,39	2,88 $\pm$ 0,07	1,97 $\pm$ 0,06	1,17 $\pm$ 0,04
Matriz 4	3,10 $\pm$ 0,26	3,01 $\pm$ 0,09	1,89 $\pm$ 0,08	1,17 $\pm$ 0,04
Matriz 5	3,78 $\pm$ 0,36	3,09 $\pm$ 0,08	1,99 $\pm$ 0,08	1,27 $\pm$ 0,04
Matriz 6	3,74 $\pm$ 0,34	3,12 $\pm$ 0,07	2,02 $\pm$ 0,09	1,23 $\pm$ 0,03
Máximo				
Matriz 1	4,90	3,31	2,10	1,32
Matriz 2	4,20	3,09	2,18	1,32
Matriz 3	4,30	3,06	2,12	1,27
Matriz 4	3,80	3,25	2,08	1,27
Matriz 5	4,60	3,33	2,12	1,35
Matriz 6	4,40	3,27	2,24	1,30
Mínimo				
Matriz 1	2,00	2,83	1,74	1,07
Matriz 2	2,00	2,64	1,75	1,10
Matriz 3	1,90	2,70	1,76	1,07
Matriz 4	2,00	2,72	1,68	1,10
Matriz 5	2,10	2,84	1,73	1,16
Matriz 6	2,00	2,87	1,79	1,14

Fonte: Dados da pesquisa.

Em estudo realizado por Abud et al. (2013), no estado do Ceará, com frutos de *C. jamaru*, verificou-se que os mesmos apresentaram massa de 154,66 $\pm$ 40,01 g,

comprimento de $82,36 \pm 5,78$ mm e $62,63 \pm 6,63$ mm de diâmetro, e continha $1439 \pm 189,78$ sementes pretas medindo 3,0 mm de comprimento.

Já Alencar et al. (2012), utilizaram em seus experimentos sementes de *C. jamaru* que tinham uma massa média de 3 mg por unidade para o estudo da composição e a mobilização das reservas de sementes desta espécie.

Em nosso estudo, as matrizes M2 e M4 apresentaram os valores de massa fresca do fruto similar, quando comparado aos resultados descritos por Abud et al. (2013), tendo M3, M5 e M6 obtido valores de massa superiores, apenas M1 obteve valores um pouco abaixo do descrito pelo autor. Para os frutos das matrizes trabalhadas, os valores de massa fresca sequencialmente foram: $M5 > M3 > M6 > M2 \geq M4 > M1$. Para o comprimento do fruto, todas as matrizes estudadas obtiveram valores superiores ao encontrado mostrados na Tabela 1, exceto para M1 que teve comprimento inferior de $79,20 \pm 14,40$ mm. Para o diâmetro as matrizes (M1, M2, M4 e M6) ficaram com valores um pouco a baixo do relatado na literatura, entretanto M3 e M5 mediram valores maiores para o diâmetro. Quanto ao número de sementes contidas no fruto, o presente estudo mostrou que a variabilidade de sementes para cada fruto é muito grande dentro da mesma matriz e entre matrizes. Em relação às sementes, realizou-se mensurações individuais para massa fresca, comprimento, largura e espessura, tendo a literatura relatado para sementes de *C. jamaru* apenas medidas de comprimento (ABUD et al., 2013) e massa fresca (ALENCAR et al., 2012), em que os valores estão próximos aos encontrados em nosso estudo (Tabela 3). Os valores de massa fresca das sementes das matrizes estudadas apresentaram a sequência: $M5 \geq M6 > M1 > M3 > M2 > M4$. De acordo com os dados, as matrizes de *C. jamaru* avaliadas apresentaram variações biométricas nos frutos e nas sementes.

5.1.2 Estudo da produção vegetal de *C. jamaru*

Para a produção vegetal de *C. jamaru*, o pré-teste demonstrou que a embebição em água a temperatura ambiente durante 48 horas resultou na melhor resposta para a matriz observada (M2). A finalidade do pré-teste era verificar a resposta germinativa para as sementes da espécie monitorada nas condições estabelecidas para a quebra de dormência neste estudo, independente da matriz utilizada para este fim. A Tabela 4 mostra os dados gerais do pré-teste realizado.

Tabela 4 - Dados do pré-teste com sementes da Matriz 2 para os tratamentos em choque térmico e embebição. Para o tratamento de embebição (média $\pm$ desvio padrão)

Tratamentos com M2		Dias para emergir	Nº de emergência	Medidas das plântulas 30 dias após implantação do experimento	
				Diâmetro	Comprimento total
				(cm)	
Choque térmico	(T1)	30	0	0	0
	(T2)	15	1	0,31	2,07
	(T3)	15	1	0,29	2,03
	(T4)	30	0	0	0
Embebição	(T1)	6 – 11	3	0,33 $\pm$ 0,07	2,2 $\pm$ 0,06
	(T2)	8 – 16	3	0,36 $\pm$ 0,03	2,3 $\pm$ 0,17
	(T3)	8 – 10	5	0,37 $\pm$ 0,06	2,5 $\pm$ 0,27
	(T4)	6 – 8	5	0,38 $\pm$ 0,02	2,6 $\pm$ 0,29

Fonte: Dados da pesquisa.

No experimento de implantação da produção vegetal, a emergência das plântulas teve início dois dias após a semeadura, sendo as sementes originárias de M6 as primeiras a iniciar o processo germinativo. A emergência prosseguiu por 35 dias após o registro do início do processo, quando então, ocorreu uma pausa na emergência das plântulas, com retorno um mês e doze dias após o registro da última emergência neste período. Neste experimento, tendo como microecossistema os vasos em condições de produção vegetal controladas, observou-se que o *boom* da emergência das plântulas ocorreu nos primeiros 30 dias da implantação do experimento. No entanto, as brotações com o decorrer dos meses não apresentaram padrão definido de tempo, com variações no tempo de emergência das sementes, mas foram registrados novos indivíduos emergentes até sete meses da implantação do experimento.

Os dados resultantes das observações durante o período de monitoramento da emergência das sementes de *C. jamaru* nos vasos, assim como o monitoramento da mortalidade dos indivíduos produzidos neste estudo estão dispostos na Tabela 5 que apresenta os resultados no período de monitoramento.

Tabela 5 - Emergência e mortalidade da produção vegetal de *C. jamacaru*: dados provenientes do monitoramento diário no período de sete meses

Plantas Matrizes		Sementes semeadas	Sementes emergidas	% de Emergência	Mortes registradas	% de Mortalidade
		(unid.)				
M1	SUMÉ	80	43	53,75	1	2,33
M2		80	23	28,75	2	8,70
M3		80	24	30,00	1	4,35
M4	MONTEIRO	80	43	53,75	5	14,29
M5		80	16	20,00	0	0,00
M6		80	55	68,75	2	3,64

Fonte: Dados da pesquisa.

Os registros de emergência e mortalidade foram realizados até o sétimo mês após a ocorrência da 1ª emergência registrada. No acompanhamento diário desta espécie observou-se que sementes oriundas de matrizes de *C. jamacaru* coletadas no campo apresentaram variabilidade germinativa entre as sementes de uma mesma matriz e entre sementes de matrizes diferentes.

As sementes provenientes de M6 apresentaram maior percentual de emergência com 68,75 % das sementes geradas, seguido por M1 e M4, que apresentaram o segundo melhor resultado com 53,75 %, sendo as sementes originárias de M5 responsáveis pela menor taxa de emergência das sementes, entretanto sua taxa de mortalidade foi zero, enquanto que as brotações geradas de M4 obtiveram maior taxa de mortalidade.

O estudo biométrico das sementes mostrou que M5 e M6, de forma geral, apresentaram maiores valores para as sementes em relação aos parâmetros avaliados, entretanto M5 não obteve o mesmo desempenho na emergência de plântulas como observado para M6, indicando que o bom desempenho da produção vegetal do *C. jamacaru* não está relacionado apenas a fatores biométricos, mas pode estar associado a propriedades intrínsecas referentes à planta matriz responsável pela produção da semente.

Os dados do acompanhamento de entrada de água proveniente das chuvas no período de monitoramento da produção vegetal estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados de análise pluviométrica coletados no Viveiro para Produção de Mudas Nativas e Estudos de Ecologia e Dinâmica da Caatinga

Mês	Dados de análise pluviométrica de janeiro a maio de 2018		
	Data da coleta	(mm)	Total acumulado (mm)
Janeiro	19/01	8,0	25,2
	26/01	17,2	
Fevereiro	15/02	1,6	71,9
	20/02	0,8	
	22/02	37,2	
	23/02	32,3	
Março	01/03	0,2	73,5
	02/03	0,1	
	03/03	15,9	
	04/03	8,6	
	25/03	0,4	
	26/03	32,3	
	29/03	8,05	
	30/03	7,75	
	31/03	0,2	
Abril	06/04	7,6	159,1
	07/04	57,0	
	09/04	44,1	
	13/04	5,4	
	14/04	0,3	
	15/04	29,4	
	16/04	0,3	
	22/04	0,4	
	23/04	3,1	
	25/04	0,1	
	26/04	11,4	
Maio	01/05	10,9	50,5
	02/05	0,5	
	10/05	15,5	
	12/05	2,8	
	15/05	9,0	
	26/05	11,8	

Fonte: Dados da pesquisa.

Nos dias com ocorrência de chuvas acima de 5,0 mm não se realizou a rega. Nos dias com maiores volumes de chuvas os vasos permaneceram umidificados até três dias após as chuvas, sem necessidade de rega.

O monitoramento da produção vegetal de *C. jamacaru* possibilitou observar os estágios diferentes de crescimento e desenvolvimento das plantas estudadas, tendo início com a emergência, como mostra a Figura 16.

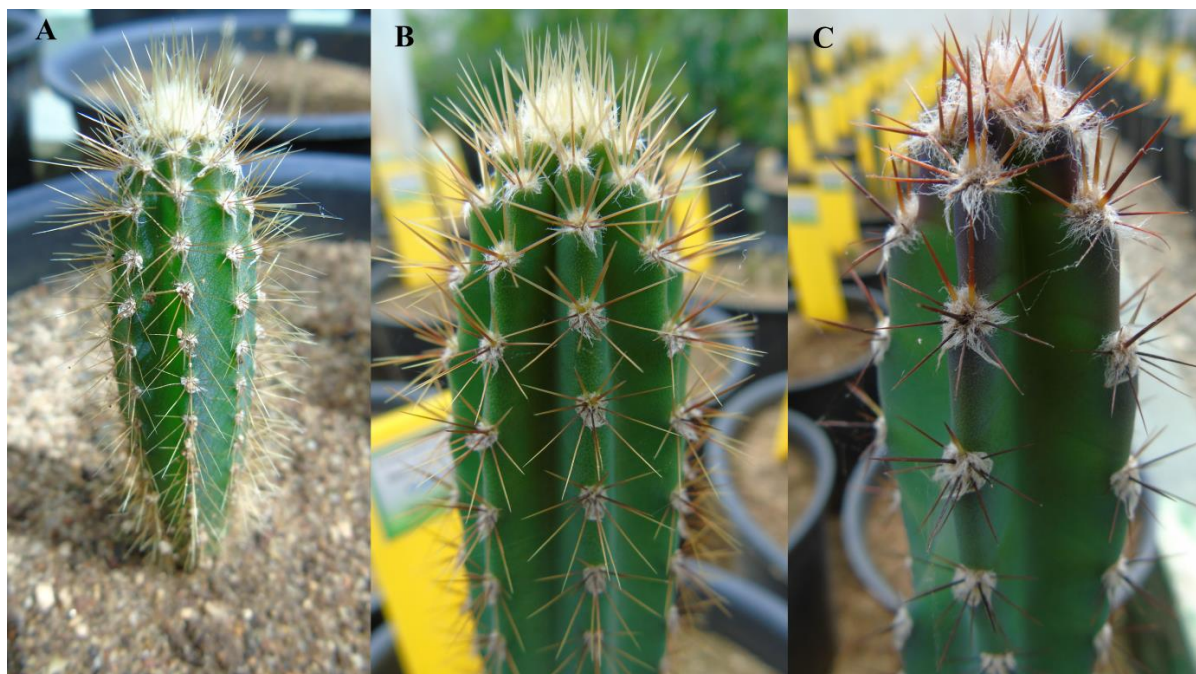
Figura 16 - Estágios de desenvolvimento e crescimento de indivíduos juvenis de *C. jamacaru* considerando o tempo de emergência. (A) Nascimento da plântula; (B) Plantas com um mês da emergência; (C) Indivíduo com dois meses da emergência; (D) Plantas com três meses da emergência; (E) Indivíduos com quatro meses após a emergência; (F) Visão geral da produção vegetal ao sexto mês da implantação do experimento



Fonte: Acervo do próprio autor.

As plântulas ao emergir apresentaram coloração esverdeada a rosada (Figura 16A), após três dias da emergência das plântulas observou-se o surgimento dos primeiros espinhos no centro dos cotilédones (entre os cotilédones), tornando-se bem visíveis ao olho nu ao atingir um mês da emergência (Figura 16B). As plantas juvenis de *C. jamacaru* são formadas por uma haste de coloração verde provida de espinhos radiais nos vértices com coloração amarelada ou avermelhada (Figura 17).

Figura 17 - Características morfológicas de plantas juvenis de *C. jamacaru*: corpo cilíndrico com brotações espinhosas. (A) Indivíduo com quatro meses cheio de espinhos de coloração amarelada; (B) Espinhos amarelados na planta ao sexto mês da emergência; (C) Espinhos avermelhados em indivíduo com seis meses da emergência



Fonte: Acervo do próprio autor.

As mensurações (altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo) foram realizadas para monitoramento do crescimento, tendo dado início no dia 25/12/2017, um mês após a 1ª emergência (medidas da plântula com um mês da brotação), seguindo o calendário de data de emergência individual com tempo diferente para cada semente que emergiu até os indivíduos completarem o sexto mês, sendo o tempo total de sete meses para o acompanhamento das mensurações. As Tabelas 7 e 8 fornecem dados relativos ao monitoramento do crescimento médio dos indivíduos juvenis produzidos no experimento, aferidos com 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias da germinação, oriundos das sementes das matrizes coletadas.

Tabela 7 - Monitoramento do desenvolvimento e crescimento de plantas juvenis de *C. jamaru* descendentes das matrizes coletadas em Sumé: medidas de altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo (média $\pm$ desvio padrão)

Tempo/ dias	Plantas juvenis descendentes das matrizes coletadas em Sumé					
	M1		M2		M3	
	Altura da parte aérea	Diâmetro ao nível do solo	Altura da parte aérea	Diâmetro ao nível do solo	Altura da parte aérea	Diâmetro ao nível do solo
	cm					
30	1,01 $\pm$ 0,17	0,44 $\pm$ 0,04	0,85 $\pm$ 0,26	0,45 $\pm$ 0,06	0,94 $\pm$ 0,23	0,43 $\pm$ 0,05
60	2,28 $\pm$ 0,42	0,50 $\pm$ 0,04	1,89 $\pm$ 0,48	0,52 $\pm$ 0,04	2,09 $\pm$ 0,48	0,53 $\pm$ 0,03
90	4,91 $\pm$ 1,27	0,59 $\pm$ 0,04	3,95 $\pm$ 0,99	0,62 $\pm$ 0,04	4,47 $\pm$ 1,16	0,62 $\pm$ 0,05
120	10,42 $\pm$ 3,00	0,71 $\pm$ 0,07	7,70 $\pm$ 1,84	0,70 $\pm$ 0,08	8,73 $\pm$ 2,48	0,71 $\pm$ 0,09
150	18,13 $\pm$ 4,70	0,88 $\pm$ 0,09	14,05 $\pm$ 3,67	0,84 $\pm$ 0,07	12,84 $\pm$ 4,44	0,82 $\pm$ 0,04
180	28,49 $\pm$ 6,07	1,38 $\pm$ 0,13	22,79 $\pm$ 5,55	1,30 $\pm$ 0,09	19,54 $\pm$ 6,50	1,29 $\pm$ 0,14

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 8 - Monitoramento do desenvolvimento e crescimento de plantas juvenis de *C. jamaru* descendentes das matrizes coletadas em Monteiro: medidas de altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo (média $\pm$ desvio padrão)

Tempo/ dias	Plantas juvenis descendentes das matrizes coletadas em Monteiro					
	M4		M5		M6	
	Altura da parte aérea	Diâmetro ao nível do solo	Altura da parte aérea	Diâmetro ao nível do solo	Altura da parte aérea	Diâmetro ao nível do solo
	cm					
30	0,85 $\pm$ 0,24	0,40 $\pm$ 0,06	1,01 $\pm$ 0,24	0,46 $\pm$ 0,03	1,14 $\pm$ 0,22	0,43 $\pm$ 0,05
60	2,00 $\pm$ 0,62	0,47 $\pm$ 0,06	2,15 $\pm$ 0,38	0,53 $\pm$ 0,03	2,62 $\pm$ 0,47	0,50 $\pm$ 0,04
90	4,50 $\pm$ 1,30	0,58 $\pm$ 0,06	4,97 $\pm$ 0,97	0,62 $\pm$ 0,04	6,20 $\pm$ 0,99	0,61 $\pm$ 0,05
120	9,39 $\pm$ 3,11	0,69 $\pm$ 0,08	9,51 $\pm$ 2,33	0,72 $\pm$ 0,07	12,67 $\pm$ 1,80	0,70 $\pm$ 0,06
150	17,2 $\pm$ 6,34	0,82 $\pm$ 0,10	16,95 $\pm$ 4,01	0,81 $\pm$ 0,04	21,36 $\pm$ 3,15	0,91 $\pm$ 0,07
180	25,93 $\pm$ 9,80	1,27 $\pm$ 0,19	26,05 $\pm$ 5,62	1,41 $\pm$ 0,06	31,28 $\pm$ 4,76	1,40 $\pm$ 0,09

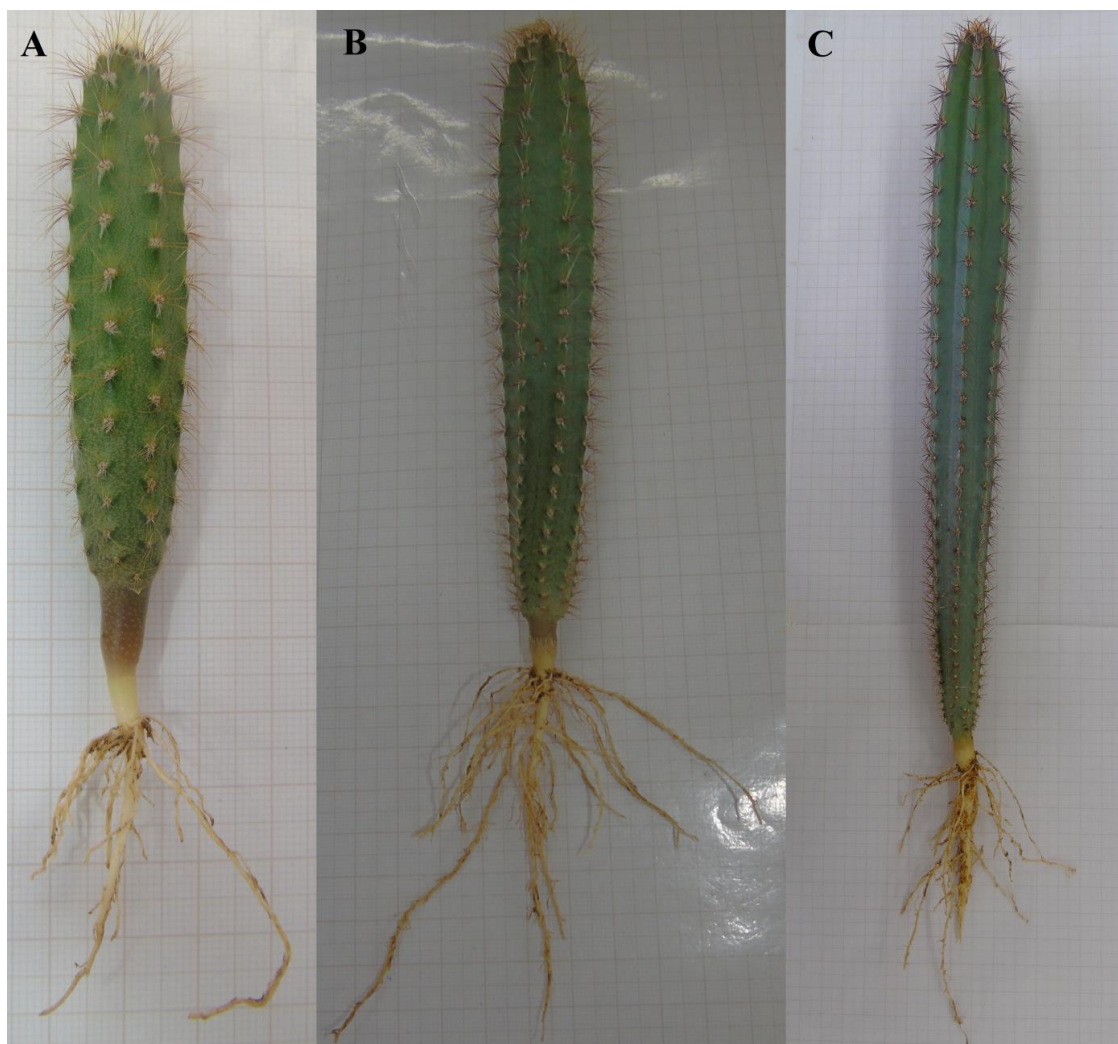
Fonte: Dados da pesquisa.

Observou-se que o crescimento dos indivíduos de *C. jamaru* é lento com variações entre as matrizes e entre indivíduos de uma mesma matriz. Abud et al. (2013) também observaram que plantas desta espécie apresentam crescimento lento, embora o estudo dos

autores tenha sido conduzido em condições diferentes das trabalhadas neste estudo. Na literatura não se tem registro de produção vegetal desta espécie com monitoramento diário de emergência e mortalidade, em período de sete meses de observações, com acompanhamento mensal de crescimento para cada indivíduo gerado em vasos com mensurações de altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo.

Em nosso estudo, fez-se ainda retiradas das plantas produzidas com 90, 135 e 180 dias da emergência (Figura 18) para avaliar o comprimento da parte radicular e massa fresca, como mostra a Tabela 9, sendo as retiradas de 90 e 135 dias executadas apenas para as plantas geradas das sementes de M1, M4 e M6, devido à ocorrência de maior emergência das plântulas oriundas destas matrizes. As retiradas de 180 dias foram realizadas para as plantas produzidas das seis matrizes monitoradas.

Figura 18 - Retiradas das plantas para avaliação nos períodos pré-determinados. (A) Indivíduo com 3 meses; (B) Indivíduo com 4 ½ meses; (C) Indivíduo com 6 meses



Fonte: Acervo do próprio autor.

Tabela 9 - Retiradas de plantas juvenis de *C. jamacaru* com 3, 4 ½ e 6 meses da emergência para as seguintes mensurações: Altura (parte aérea e parte radicular), diâmetro ao nível do solo e massa fresca (média ± desvio padrão)

Parâmetros avaliados na retirada dos indivíduos juvenis

Matriz	3 Meses da emergência/90 dias				4 ½ Meses da emergência/135 dias				6 Meses da emergência/180 dias			
	Altura/comprimento (cm)		Diâmetro ao nível do solo (cm)	Massa fresca (g)	Altura/comprimento (cm)		Diâmetro ao nível do solo (cm)	Massa fresca (g)	Altura/comprimento (cm)		Diâmetro ao nível do solo (cm)	Massa fresca (g)
	Parte aérea	Parte radicular			Parte aérea	Parte radicular			Parte aérea	Parte radicular		
M1	6,15 ± 0,95	4,70 ± 0,26	0,60 ± 0,03	6,88 ± 1,30	13,65 ± 2,18	7,35 ± 2,26	0,76 ± 0,06	26,60 ± 9,21	33,38 ± 7,25	13,25 ± 2,36	1,40 ± 0,15	136,81 ± 38,73
M2	—	—	—	—	—	—	—	—	25,2 ± 2,85	10,4 ± 3,12	1,27 ± 0,06	116,69 ± 26,12
M3	—	—	—	—	—	—	—	—	22,3 ± 2,37	11,23 ± 0,91	1,33 ± 0,13	102,51 ± 8,69
M4	4,65 ± 1,20	3,70 ± 0,55	0,55 ± 0,03	3,89 ± 1,84	12,53 ± 4,14	5,88 ± 2,37	0,74 ± 0,09	21,89 ± 10,09	31,75 ± 5,36	13,03 ± 1,45	1,32 ± 0,11	133,31 ± 27,75
M5	—	—	—	—	—	—	—	—	26,1 ± 5,62	9,45 ± 2,67	1,41 ± 0,06	111,58 ± 40,50
M6	6,46 ± 0,89	4,26 ± 0,73	0,63 ± 0,06	6,96 ± 1,29	17,4 ± 0,79	8,60 ± 0,75	0,78 ± 0,13	42,09 ± 5,22	36,0 ± 3,02	13,25 ± 3,28	1,50 ± 0,19	161,70 ± 29,42

Fonte: Dados da pesquisa.

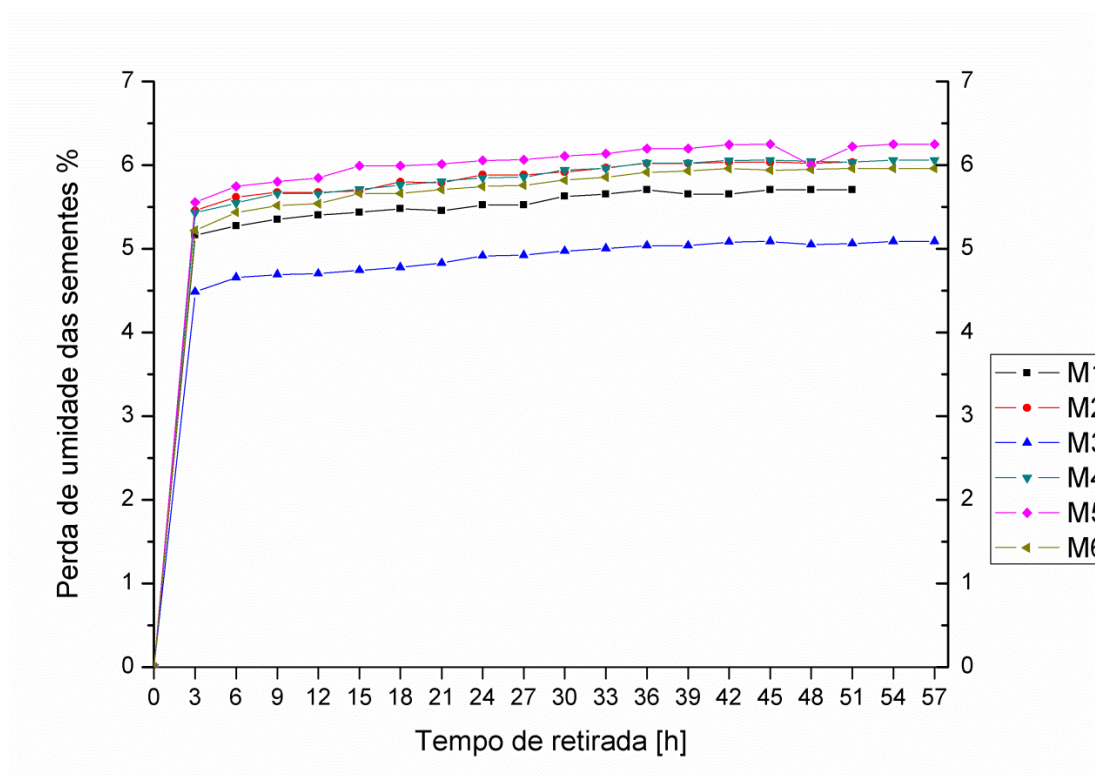
Nas condições estabelecidas para a produção vegetal, analisando de forma geral os parâmetros avaliados nas retiradas dos indivíduos, observou-se que os indivíduos gerados de M6 apresentaram maior crescimento, obtendo maiores valores para o comprimento da parte radicular e massa fresca, assim como para os demais parâmetros avaliados, tendo assim o melhor desempenho na produção vegetal da espécie em estudo.

5.2 Resultados das Análises físico-químicas das sementes

5.2.1 Teores de umidade e cinzas pelos métodos convencionais adaptados

A umidade das sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6 foram: 5,70%, 6,04%, 5,09%, 6,06%, 6,25% e 5,96% respectivamente (Figura 19).

Figura 19 - Composição centesimal expressa em percentual de umidade das sementes das matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) de *C. jamacaru*



Fonte: Dados da pesquisa.

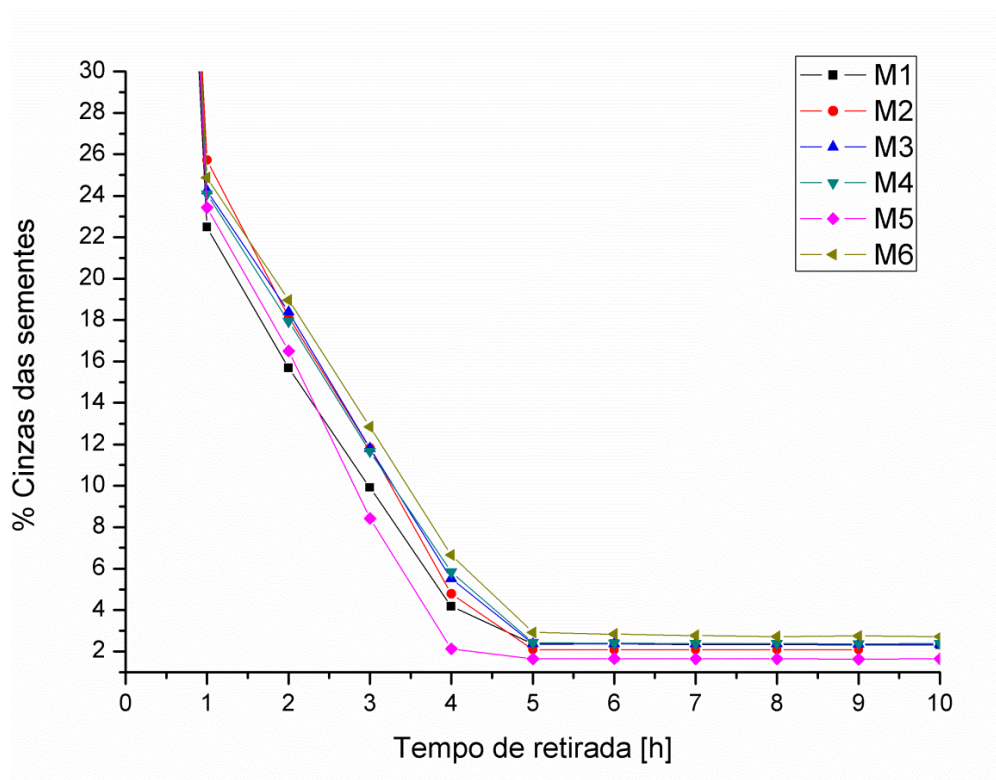
Os resultados encontrados em nosso estudo revelaram baixo teor de umidade das sementes das matrizes avaliadas com a seguinte ordem: Essa baixa umidade das sementes pode ser decorrente das condições ambientais de produção da semente no campo e do método de extração das sementes utilizado neste estudo. Além disso, a umidade das sementes trabalhadas está associada ao grau de maturação das mesmas, e também às condições de longas estiagens que podem ter interferido na constituição da semente gerada nesses períodos.

As curvas de perda de umidade apresentaram comportamento similar para as sementes de todas as seis matrizes avaliadas, ou seja, todas apresentaram resultados concordantes entre si, sendo o tempo de estufa fixo em três horas para cada pesagem, observou-se que a primeira

pesagem (três horas na estufa, resfriamento e pesagem), apresenta a maior variação de perda de umidade, nas demais pesagens a variação foi pequena até atingir valores constantes nas repetições nas repetições (Figura 19).

Na determinação dos teores de cinzas das sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6 obtiveram-se os seguintes resultados: 2,32%, 2,09%, 2,36%, 2,37%, 1,63% e 2,71% respectivamente (Figura 20), sendo o menor valor encontrado para M5 e o maior para M6.

Figura 20 - Determinação dos teores de cinzas para as sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6 em função do tempo de retirada da mufla



Fonte: Dados da pesquisa.

O teor de cinzas das sementes de M1, M3 e M4 são equivalentes, enquanto as sementes de M2 apresentaram valores próximos ao encontrado para as sementes dessas matrizes. De forma geral, observou-se similaridade no comportamento das sementes das seis matrizes testadas em relação à determinação dos teores de cinzas.

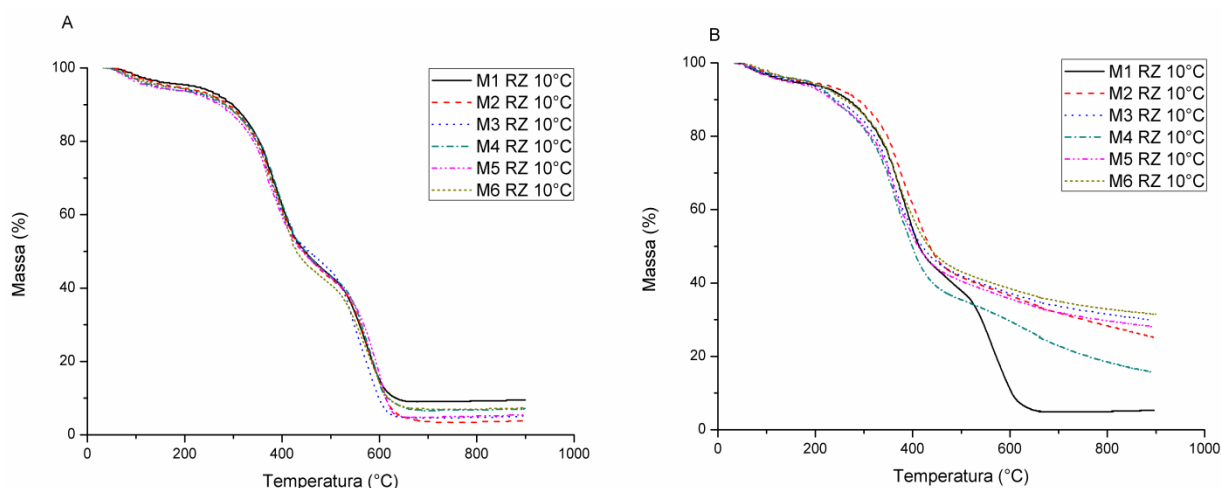
5.2.2 Estudos Termogravimétricos (TG)

Para descrever o processo de decomposição térmica das sementes de *C. jamaru*, utilizou-se a razão de aquecimento $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, sendo esta razão comumente usada para estudos de análise térmica aplicada a drogas vegetais.

O comportamento termogravimétrico das sementes das seis matrizes de mandacaru foi verificado, determinando-se alguns parâmetros, tais como: temperatura inicial e final de decomposição, etapas de decomposição e perda de massa. As curvas termogravimétricas de todas as amostras foram obtidas segundo a razão de aquecimento $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, utilizando atmosfera de ar sintético e nitrogênio (Figura 21).

Na razão de aquecimento $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, observaram-se cinco eventos de degradação de massa em atmosfera de ar sintético para as sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6, indicando similaridade entre os perfis térmicos para as sementes das seis matrizes investigadas (Figura 21A). Entretanto, na atmosfera de nitrogênio nesta mesma razão de aquecimento observaram-se quatro eventos de degradação para as sementes das matrizes avaliadas (Figura 21B), exceto para M1 que apresentou cinco eventos, comportamento similar ao observado em atmosfera de ar sintético.

Figura 21 – Curvas TG dinâmica para sementes das seis matrizes de *C. jamaru* na razão de aquecimento $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$, em atmosfera de ar sintético (A) e nitrogênio (B)



Fonte: Dados da pesquisa.

O primeiro evento, observado em atmosfera oxidativa para M1, M2, M3, M4, M5 e M6 ocorreu entre $47,6\text{--}110,1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $45,2\text{--}114,8\text{ }^{\circ}\text{C}$; $43,4\text{--}121,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; $36,5\text{--}111,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; $45,2\text{--}109,7\text{ }^{\circ}\text{C}$;

58,1-111,4 °C, correspondendo a perdas de massa de 3,27%; 3,82%; 4,48%; 4,76%; 4,78%; 3,87%, respectivamente, e pode ser atribuída a perda de compostos voláteis, majoritariamente água livre na semente, uma vez que este mesmo evento também foi evidenciado em atmosfera inerte em faixas similares de temperatura com as seguintes perdas de massa: 4,252%, 3,673%, 3,781%, 3,689%, 4,538% e 3,443% para as respectivas M1, M2, M3, M4, M5 e M6 com comportamento térmico análogo para as duas atmosferas trabalhadas.

No segundo evento, em ar sintético, observaram-se as seguintes faixas de temperatura: 110,1-233,0 °C, 114,8-264,8 °C, 121,4-253,8 °C, 111,5-232,0 °C, 109,7-252,9 °C e 111,4-256,7 °C, e perdas de massa de: 5,25%, 4,82%, 5,19%, 4,94%, 5,81% e 5,03% para as amostras das sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6. Neste evento, em atmosfera de nitrogênio, a degradação da massa ocorreu com valores bem próximos ao encontrado em atmosfera oxidativa, sendo a maior perda de 6,14% para M1 e menor de 3,87% para M2, para as demais matrizes avaliadas a perda de massa foi equivalente à atingida em ar sintético.

Ao estudar a mobilização de reservas em semente de *C. jamacaru* durante o processo germinativo, Alencar et al. (2012) verificaram que as mesmas são compostas por lipídios, açúcares solúveis, amido, proteínas solúveis, aminoácidos livres e outros compostos, tendo os lipídios como principais componentes de reserva destas sementes, sendo as proteínas a segunda reserva mais mobilizada, e os demais constituintes contribuem com quantidades mínimas neste processo. Sendo assim, o segundo evento deve estar relacionado, ainda a água intrínseca a semente e a microconstituintes presentes em sua constituição.

O terceiro e quarto eventos representam a degradação do conjunto de macroconstituintes da semente. No qual, o terceiro evento representa a etapa principal de decomposição, podendo estar relacionado aos lipídios presentes na semente, com temperaturas entre 233,0-348,2 °C; 264,8-333,4 °C; 253,8-347,6 °C; 232,0-345,0 °C; 252,9-347,4 °C; 256,7-350,4 °C, correspondendo às perdas de massa de 36,27%, 36,03%, 33,06%, 36,25%, 36,07%, 37,34%, para as respectivas etapas de decomposição das sementes das matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6), sendo a maior perda de massa observada para M6. Para este evento, em atmosfera de nitrogênio, as sementes das seis matrizes apresentaram comportamento semelhante ao da atmosfera de ar sintético para perda de massa, tendo M6 alcançado a maior perda de massa no valor de 35,95% e M3 a menor no valor de 30,13%, comportamento semelhante ao averiguado em atmosfera de ar sintético, indicando que neste evento, as sementes das seis plantas matrizes avaliadas demonstraram um mesmo perfil térmico nas duas atmosferas avaliadas.

Já no quarto evento a maior perda de massa observada ocorreu nas sementes de M2 com perda de 15,1%, ocorrendo entre 333,4-526,2 °C quando as amostras foram submetidas à atmosfera oxidativa. Na atmosfera inerte este evento representa a etapa final da decomposição, na qual a perda de massa foi lenta e gradativa com resíduo de cinzas de 41,76% para M2, 43,87% para M3, 38,04% para M4, 39,96% para M5 e 41,47% para M6, exceto para M1 que apresentou comportamento análogo ao observado sob atmosfera de ar sintético com cinco eventos.

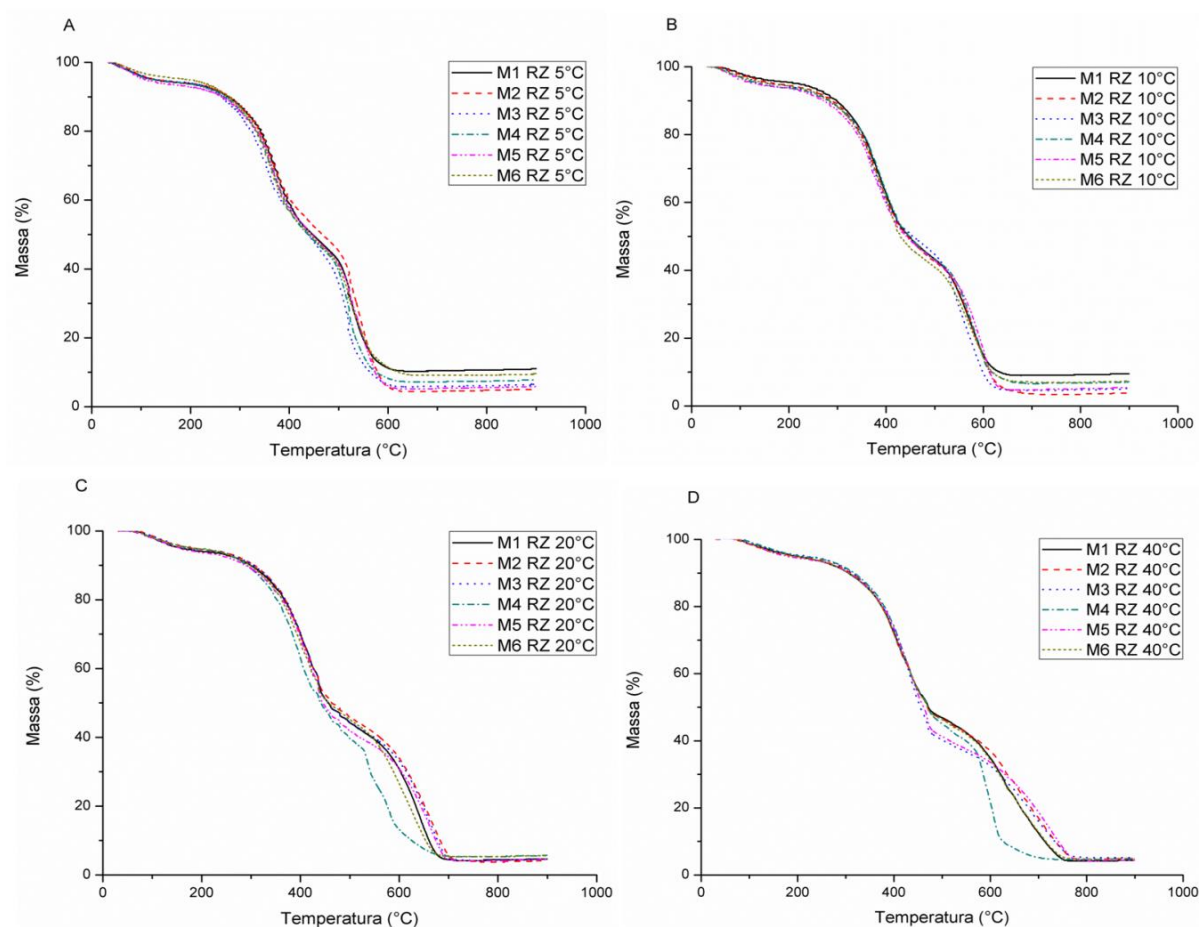
O quinto evento apresentou a segunda maior perda de massa no processo de decomposição de sementes de *C. jamacaru* sob atmosfera de ar sintético, entretanto ele corresponde à etapa final do processo de decomposição de sementes desta espécie, apresentando ao final do processo um resíduo de cinzas de 10,87%, 9,00%, 7,65%, 8,80%, 5,96% e 9,88% da massa inicial para as amostras das sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6 respectivamente. Este evento não foi evidenciado para M2, M3, M4, M5 e M6 em atmosfera inerte, exceto para M1 que neste evento obteve um residual de cinzas de 7.38%.

5.2.3 Estudos dos Parâmetros Cinéticos

Na investigação da cinética de decomposição térmica por TG dinâmica usou-se o método Ozawa para determinar os parâmetros cinéticos da degradação de sementes trituradas das seis matrizes coletadas de *C. jamacaru*. Estes parâmetros foram analisados sob quatro razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40 °C min⁻¹, e as curvas TG foram obtidas utilizando a atmosfera oxidativa.

Na Figura 22, têm-se a sobreposição de curvas TG para as sementes das seis matrizes em estudo. Esta análise possibilitou observar o comportamento térmico entre as sementes das seis matrizes, evidenciando-se cinco eventos de degradação de massa (atmosfera oxidativa) nas quatro razões de aquecimento, indicando similaridade entre os perfis das matrizes.

Figura 22 - Sobreposição de curvas TG de semente das matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) de *C. jamacaru* nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40°C min⁻¹



Fonte: Dados da pesquisa.

Para as quatro razões de aquecimento, as matrizes apresentaram semelhanças nas perdas de massa, no entanto, M4 apresentou comportamento diferenciado nas curvas de razões 20 e 40 °C min⁻¹, sendo a decomposição térmica do terceiro evento considerada como principal etapa de degradação das sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6, nas quatro razões de aquecimento trabalhadas. Os dados para esta etapa estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados das curvas termogravimétricas dinâmicas para a principal etapa de degradação das sementes estudadas

Sementes trituradas de <i>C. jamaru</i>				
Matrizes	Razão de aquecimento (°C min ⁻¹)	EVENTO 3		
		$T_{inicial}$ (°C)	T_{final} (°C)	Perda de massa (%)
M1	5	239,7	324,8	34,34
	10	233,0	348,2	36,27
	20	280,1	368,1	38,07
	40	303,8	382,8	36,88
M2	5	212,1	321,5	32,63
	10	264,8	333,4	36,03
	20	265,8	367,1	37,87
	40	284,1	372,7	37,73
M3	5	242,8	314,4	28,40
	10	253,8	347,6	33,06
	20	246,5	355,7	37,38
	40	275,6	385,1	41,99
M4	5	246,1	322,3	32,15
	10	232,0	345,0	36,25
	20	263,1	348,1	36,97
	40	275,9	371,9	36,85
M5	5	239,5	325,6	31,50
	10	252,9	347,4	36,07
	20	260,9	364,1	39,27
	40	268,7	374,7	44,65
M6	5	223,8	322,0	35,87
	10	256,7	350,4	37,34
	20	264,7	363,5	37,75
	40	283,1	366,1	38,96

Fonte: Dados da pesquisa.

Para a determinação dos parâmetros cinéticos, considerou-se o terceiro evento no qual ocorreram as perdas de massa mais relevantes no processo de reação de decomposição térmica para as amostras de sementes das matrizes avaliadas. Aplicou-se o método de Ozawa, cuja ferramenta está disponível no software TA-60WS, possibilitando assim calcular a energia de ativação (E_a), o fator de frequência (A) e a ordem (n) em que esse evento se processa que estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros cinéticos de decomposição térmica das sementes das plantas matrizes avaliadas usando o método de Ozawa

Sementes das matrizes de <i>Cereus jamacaru</i> DC.	PARÂMETROS CINÉTICOS		
	E_a (KJ mol ⁻¹)	n	A (min ⁻¹)
M1	156,32 (±2,689)	0	1,227x10 ¹¹
M2	150,34 (±5,071)	0	4,079x10 ¹⁰
M3	110,34 (±3,809)	0	4,288x10 ⁷
M4	167,65 (±13,829)	0	1,389x10 ¹²
M5	161,20 (±4,030)	0	3,168x10 ¹¹
M6	156,39 (±5,818)	0	1,114x10 ¹¹

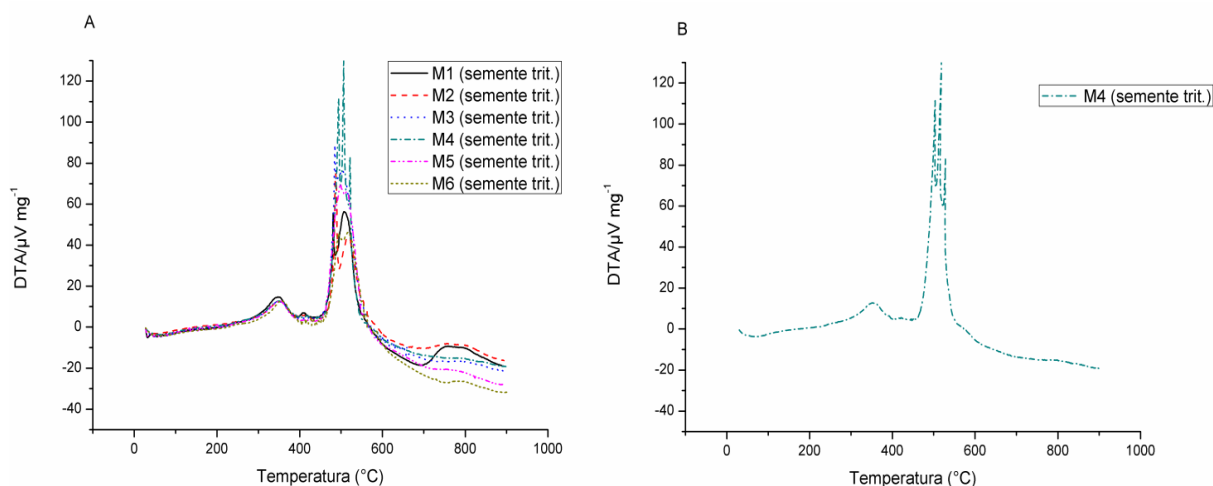
Fonte: Dados da pesquisa.

Dentre as sementes das matrizes analisadas M4 foi a matriz de maior energia de ativação, indicando que a decomposição térmica das sementes dessa matriz ocorreu mais lentamente quando comparado às demais matrizes. Verificou-se ainda que os valores da energia de ativação para as sementes de M1 e M6 são equivalentes. Macêdo et al. (2000) relacionou os valores da energia de ativação de fármacos a uma sequência diretamente proporcional a estabilidade térmica dos mesmos. Partindo desse pressuposto, pode-se dispor a ordem de estabilidade térmica das sementes das matrizes de *C. jamacaru* da seguinte forma: M4 > M5 > M1 $\cong$ M6 > M2 > M3. Assim, os resultados obtidos para sementes das matrizes da referida espécie sugerem diferenças nas características químicas das mesmas.

5.2.4 Estudos Térmicos Diferenciais

As curvas DTA (Figura 23) mostraram três eventos exotérmicos para sementes trituradas de M1, M2, M3, M5 e M6 com pico variando entre 354,0-358,9 °C, 492,9-508,1°C e 509,8-523,7 °C, tendo M4 apresentado comportamento diferenciado com quatro eventos exotérmicos, com pico nos respectivos valores: 352,3; 503,3; 519,0 e 528,6 °C. Os parâmetros determinados por análise térmica diferencial estão registrados na Tabela 12.

Figura 23 - Sobreposição de curvas DTA de sementes trituradas das matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) de *C. jamacaru* (A) e a DTA de M4 (B), razão de aquecimento 10 °C min⁻¹



Fonte: Dados da pesquisa.

Ao observar o perfil térmico das sementes trituradas de *C. jamacaru* para as seis matrizes avaliadas, realizaram-se, então, os mesmos ensaios de DTA para sementes inteiras de M2 e M5 da espécie estudada.

Tabela 12 - Parâmetros terminados por DTA para sementes trituradas de *C. jamacaru*

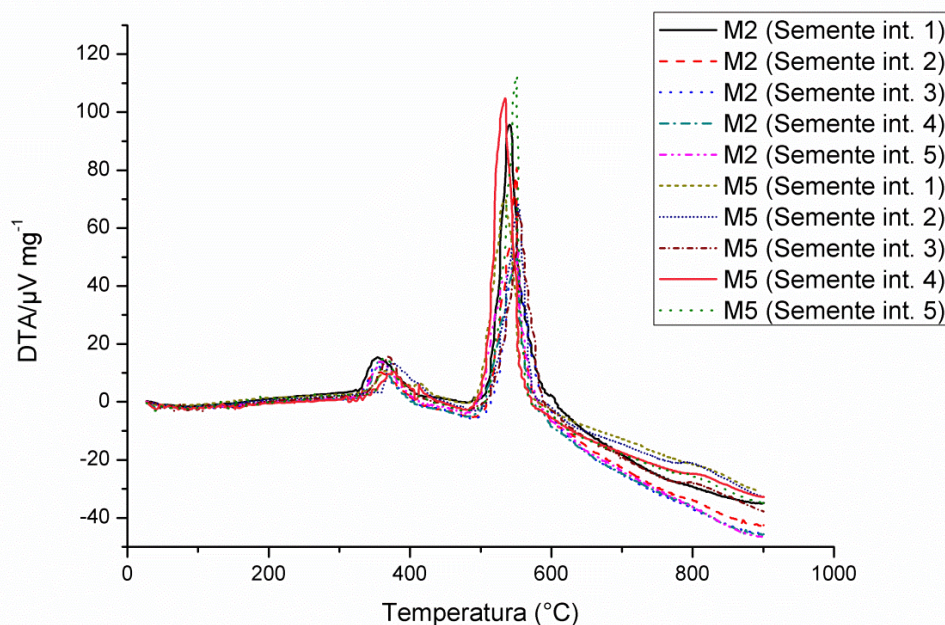
Amostra de sementes trituradas	EVENTO 1		EVENTO 2		EVENTO 3		EVENTO 4	
	Pico (°C)	Entalpia (kJ g ⁻¹)	Pico (°C)	Entalpia (kJ g ⁻¹)	Pico (°C)	Entalpia (kJ g ⁻¹)	Pico (°C)	Entalpia (kJ g ⁻¹)
M1	355,7	382,30	492,9	118,23	517,9	992,72	N.A	N.A
M2	356,5	255,21	498,5	405,44	523,7	805,39	N.A	N.A
M3	354,0	264,38	496,3	145,77	509,8	630,26	N.A	N.A
M4	352,3	238,56	503,3	455,15	518,9	354,95	528,6	72,65
M5	358,9	288,86	508,1	425,71	521,0	302,36	N.A	N.A
M6	354,7	416,33	494,5	286,40	516,7	409,20	N.A	N.A

N.A: Não apresentou;

Fonte: Dados da pesquisa.

Os ensaios de DTA para sementes inteiras foram executados para M2 e M5 com cinco repetições para cada matriz de *C. jamacaru*. As curvas térmicas diferenciais das sementes inteiras de M2 e M5 do mandacaru estão representadas na Figura 24.

Figura 24 - Curvas de DTA das sementes inteiras das matrizes (M2 e M5) de *C. jamacaru*



Fonte: Dados da pesquisa.

Observando-se o perfil térmico diferencial para as sementes inteiras de *C. jamacaru* em ambas as matrizes avaliadas, visualizou-se a presença de dois eventos exotérmicos para M2 e M5, sendo M2 com pico variando entre 349,2-355,8 °C e 538,3-543,7 °C, e para M5 com pico variando entre 361,8-374,0 °C e 537,7-551,4 °C, diferente do encontrado na DTA para sementes trituradas desta espécie que apresentaram um número maior de eventos, devido a uma maior reatividade proveniente do estado triturado da semente.

Analisando as curvas de DTA para sementes trituradas comparando com as curvas DTA para sementes inteiras, observa-se que a faixa de temperatura para o primeiro evento exotérmico é similar para as sementes nas duas condições físicas. O segundo evento exotérmico visualizado nas curvas DTA para sementes inteiras apresentam pico em uma faixa de temperatura similar ao observado para o pico visualizado no terceiro evento exotérmico das curvas DTA para as sementes trituradas.

A Tabela 13 mostra os resultados encontrados para os parâmetros determinados por análise térmica diferencial para as sementes inteiras avaliadas. Pode-se observar que as sementes de M2 e M5 inteiras apresentaram maiores valores de entalpia do que as trituradas, indicando que a integridade das sementes dificulta a degradação dos macrocomponentes presentes nas mesmas, exigindo uma maior liberação de energia para que ocorra a degradação.

Tabela 13 - Análise DTA de sementes inteiras (por unidade) de *C. jamacaru*

Amostra de sementes inteiras por unidade	EVENTO 1		EVENTO 2	
	Pico (°C)	Entalpia (kJ g ⁻¹)	Pico (°C)	Entalpia (kJ g ⁻¹)
M2 (1)	350,8	708,53	538,5	4069,15
M2 (2)	349,2	696,64	538,3	2883,3
M2 (3)	350,2	536,52	542,3	3130,29
M2 (4)	355,8	515,22	542,3	2747,13
M2 (5)	355,6	618,65	543,7	3388,8
M5 (1)	371,1	287,75	541,2	3647,99
M5 (2)	372,7	489,09	549,6	3512,76
M5 (3)	361,8	611,99	544,7	3794,79
M5 (4)	374,0	539,44	537,7	3976,23
M5 (5)	365,7	468,38	551,4	3735,77

Fonte: Dados da pesquisa.

A literatura não dispõe de registros de estudo sobre análise térmica para sementes de *Cereus jamacaru* DC. que permitam a comparação com os resultados encontrados em nosso estudo para as sementes da espécie estudada.

5.3 Análise de Componentes Principais aplicada ao estudo de *Cereus jamacaru* DC.

As técnicas de análise multivariada foram utilizadas visando à obtenção de informações relevantes acerca do conjunto de dados originais provenientes de ensaios experimentais realizados com a espécie *C. jamacaru*.

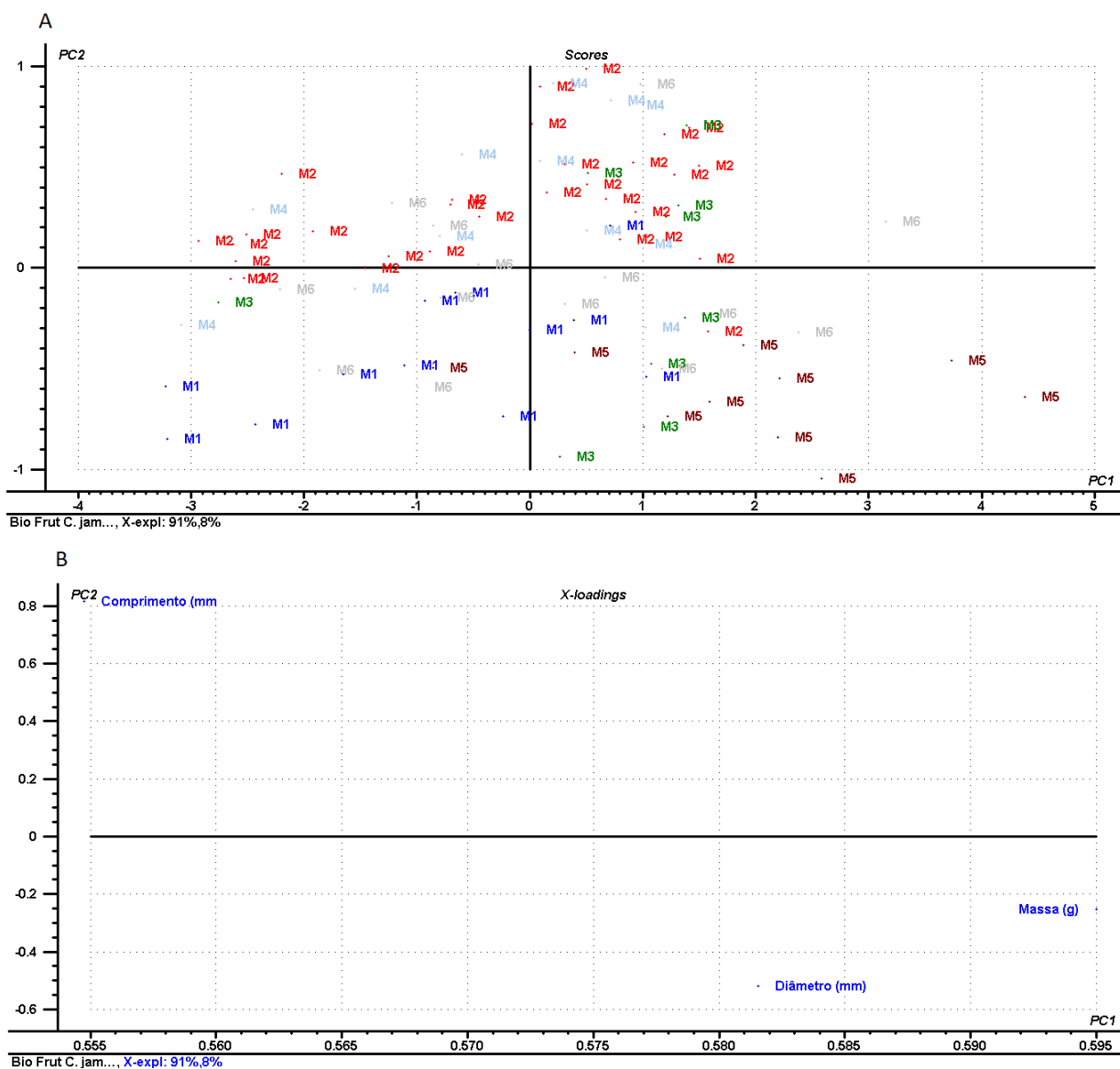
A análise multivariada dos dados através da aplicação da análise dos componentes principais (PCA) consiste em reescrever as variáveis originais em novas variáveis denominadas de componentes principais (PC – do inglês *Principal Component*), geradas através de uma transformação matemática especial realizada sobre as variáveis originais. Esta operação matemática está disponível em diversos softwares estatísticos especializados. Para o nosso estudo utilizou-se o pacote estatístico Unscrambler ver. 9.7. Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais.

5.3.1 Biometria de frutos e sementes.

Ao aplicar PCA aos dados da biometria dos frutos e das sementes de *C. jamaru* se obteve os seguintes resultados:

A Figura 25 mostrou de forma geral que PC1 e PC2 juntos explicam 99% da variação total para os dados biométricos dos frutos de *C. jamaru*, sendo PC1 responsável por 91% e o segundo, PC2, por 8% das variações dos dados.

Figura 25 - Resultado da PCA para os dados da biometria dos frutos de *C. jamaru*: (A) Gráfico dos scores da amostragem de frutos coletados das matrizes de Sumé (M1, M2 e M3) e Monteiro (M4; M5 e M6); (B) Gráfico dos loadings: contribuição das variáveis para variabilidade biométrica dos frutos de cada matriz avaliada



Fonte: Dados da pesquisa.

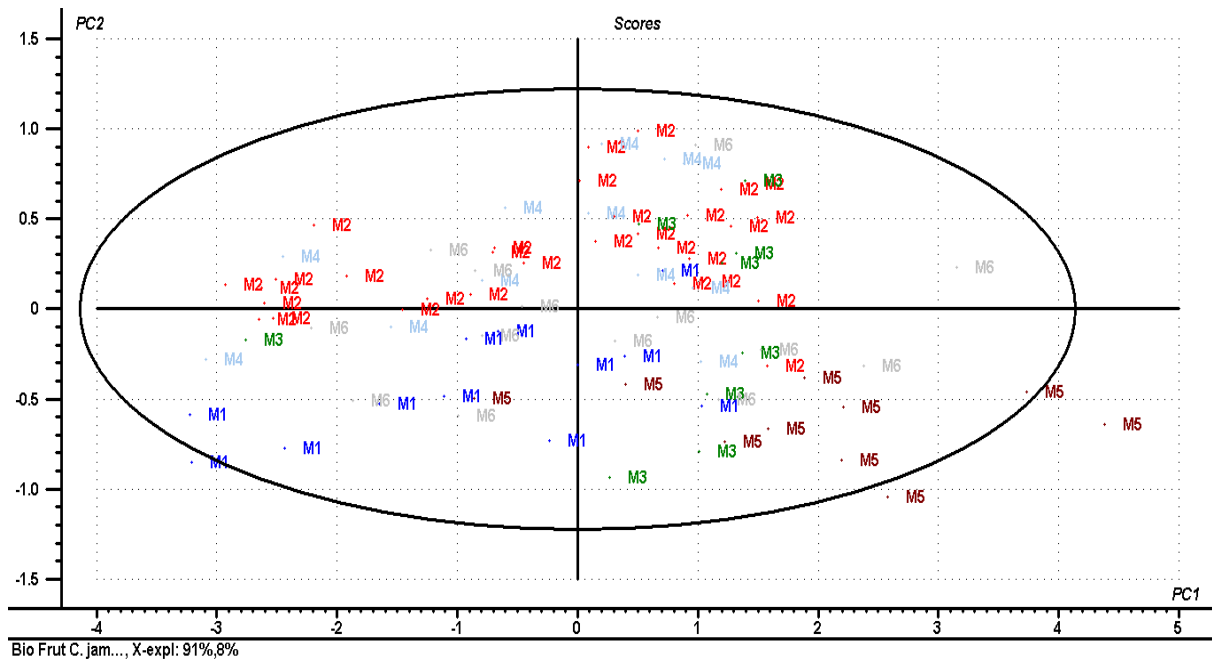
O gráfico de *scores* na Figura 25A mostra como as amostras (frutos) das matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) se agrupam com base nos descritores considerados, permitindo observar a variação biométrica entre as amostras (frutos) de cada M. O gráfico dos *loadings* representado na Figura 25B mostra a influência das variáveis sobre as amostras. Observa-se pelo referido gráfico que as variáveis (comprimento, diâmetro e massa fresca) apresentam contribuição positiva para PC1. Pode-se notar, ao longo do eixo da PC2, que o comprimento contribui positivamente, enquanto diâmetro e massa tem contribuição negativa.

Desta forma, comparando-se os gráficos de *scores* com o de *loading* é possível observar que M5 possui maiores valores para massa e diâmetro, embora os frutos de M5 também tenham maiores valores para o comprimento, uma vez que esta variável contribui positivamente para PC1, no entanto este comprimento não influenciou no comportamento de M5, tanto quanto sua massa e diâmetro responsáveis pela diferenciação do mesmo, apresentando um padrão bem definido.

Os frutos de M2 e M4 se diferenciam, principalmente por maior comprimento, enquanto M1 apresenta o menor comprimento entre todas as matrizes avaliadas. Para M3, observa-se massa considerável, mas não apresentou padrão com relação a diâmetro e comprimento, assim como também ocorreu com M6 que não indicou padrão definido para nenhuma das variáveis avaliadas. O número de sementes por fruto foi desconsiderado nesta análise, no entanto, o resumo com os dados originais coletados na biometria dos frutos estão dispostos na Tabela 1 descrita anteriormente. Neste estudo o número de frutos coletados e mensurados variou de uma matriz para outra.

O resultado alcançado na PCA aplicando a ferramenta *Hotelling T2* (Figura 26) mostrou que apenas dois dados de M5 e um dado de M1 não apresentaram confiabilidade, tendo a maioria dos dados atingido variância de 95%, sendo uma amostragem que expressa confiabilidade, mesmo tendo o número de frutos diferente de uma matriz para outra.

Figura 26- PCA da biometria dos frutos de *C. jamacaru*: resultado gráfico da elipse de Hotelling T2 com as seis matrizes trabalhadas (M1, M2, M3, M4, M5 e M6)

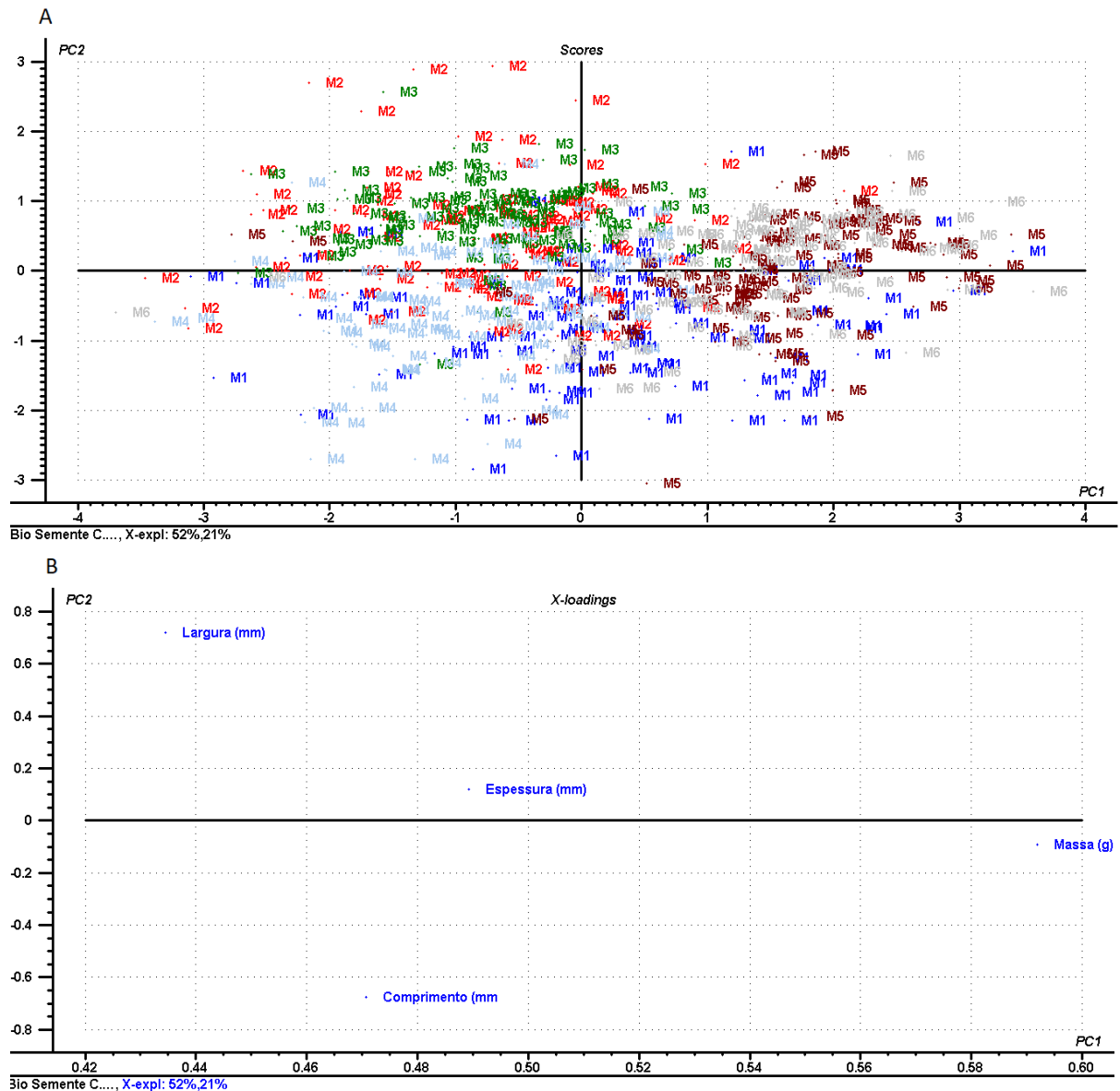


Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 27 mostra o resultado de forma geral para PCA da biometria das sementes de seis matrizes (M) analisadas, onde PC1 e PC2 juntos explicam 73% da variação total para os dados biométricos das sementes de *C. jamacaru*, sendo PC1 responsável por 52% e o segundo, PC2, por 21% das variações dos dados.

Segundo o gráfico de *scores* das PCs, o agrupamento das amostras de cada M é apresentado na Figura 27A, no qual é possível observar a distribuição espacial das mesmas e a distinção entre elas. O gráfico de *loading* das PCs na Figura 27B mostrou que todas as variáveis apresentam contribuição positiva para PC1, entretanto, para PC2, a contribuição positiva foi proveniente das variáveis largura e espessura, enquanto que comprimento e massa influenciaram negativamente esta componente.

Figura 27 - Resultado da PCA para a biometria das sementes de *C. jamacaru*: (A) Gráfico dos scores para amostragem de 100 (cem) sementes por matriz (M1 cor azul; M2 cor vermelha; M3 cor verde; M4 cor azul claro; M5 cor vinho e M6 cor cinza); (B) Gráfico dos loadings: contribuição das variáveis

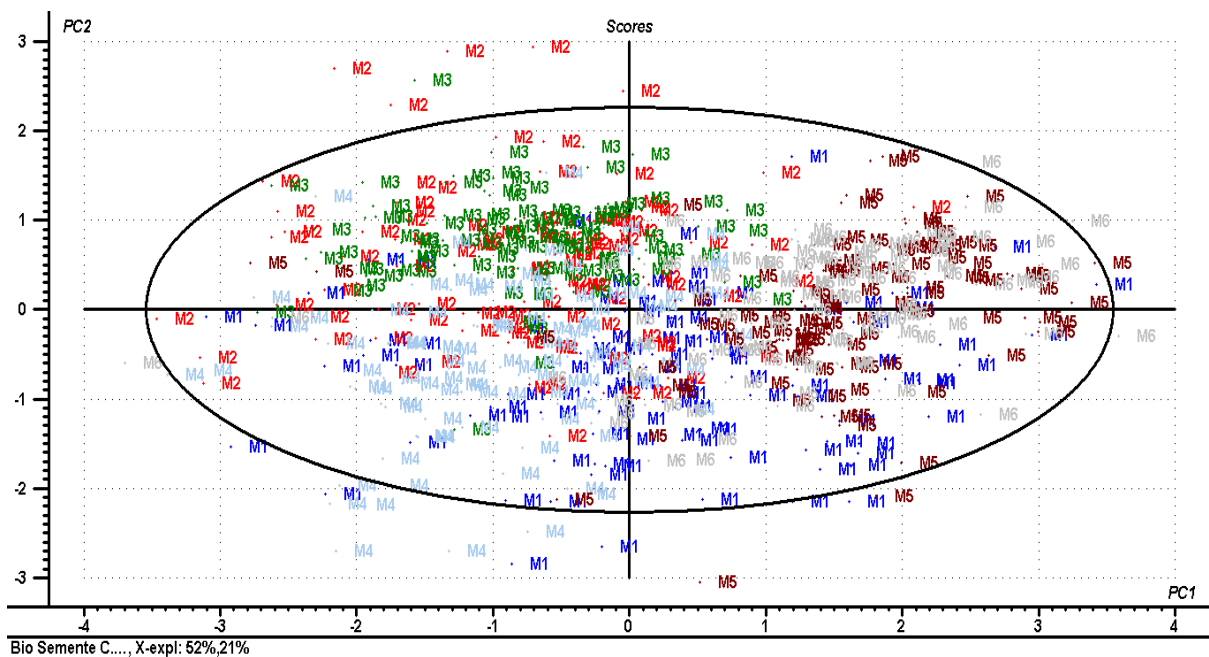


Fonte: Dados da pesquisa.

O referido gráfico de *loading* (Figura 27B) possibilitou observar a diferenciação entre os grupos amostrais, onde M5 e M6 apresentaram maiores valores para massa (g), espessura (mm), comprimento (mm) e largura (mm) de forma geral, enquanto M3 apresentou menores valores para as respectivas variáveis, distinguindo-se, sobretudo, pelo menor comprimento em relação às demais matrizes investigadas. Pode-se observar ainda que as sementes de M4 mostraram majoritariamente menores valores para largura e massa.

A elipse Hotelling T2 (Figura 28) permitiu avaliar a confiabilidade dos dados obtidos na biometria das sementes, e também possibilitou uma melhor visualização do comportamento da amostragem, tendo a maioria dos dados atingido pelo menos 95% de confiança.

Figura 28 - PCA da biometria das sementes de *C. jamacaru* para as seis matrizes trabalhadas (M1 cor azul; M2 cor vermelha; M3 cor verde; M4 cor azul claro; M5 cor vinho e M6 cor cinza) usando a elipse de Hotelling T2



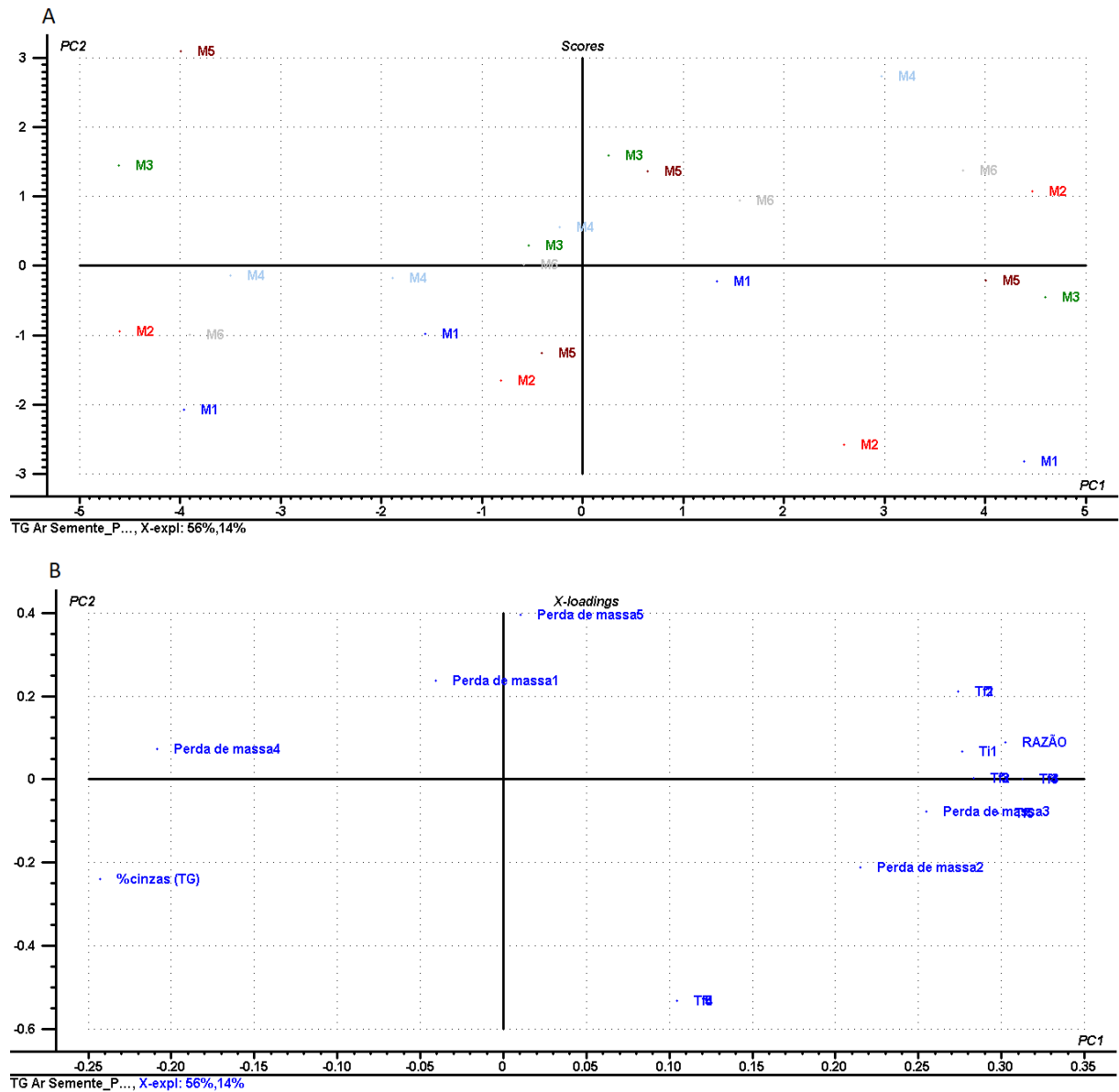
Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados da PCA para a biometria dos frutos e sementes das seis matrizes avaliadas evidenciaram a variabilidade biométrica existente entre as mesmas.

5.3.2 PCA aplicada a Análise Térmica.

O resultado para PCA da TG (fluxo de Ar) de sementes de *C. jamacaru* mostrou que PC1 e PC2, juntos, possibilitam descrever 70% da variação total observada, sendo PC1 responsável por 56%, enquanto PC2 explica 14% das variações dos dados (Figura 29). No entanto, não se tem uma visualização de padrões na análise de PCA ao utilizar os dados originais extraídos da TG em fluxo de ar.

Figura 29 - Resultado da PCA para os dados da Termogravimetria (TG) de sementes de *C. jamacaru* em fluxo de Ar nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40 °C.min⁻¹

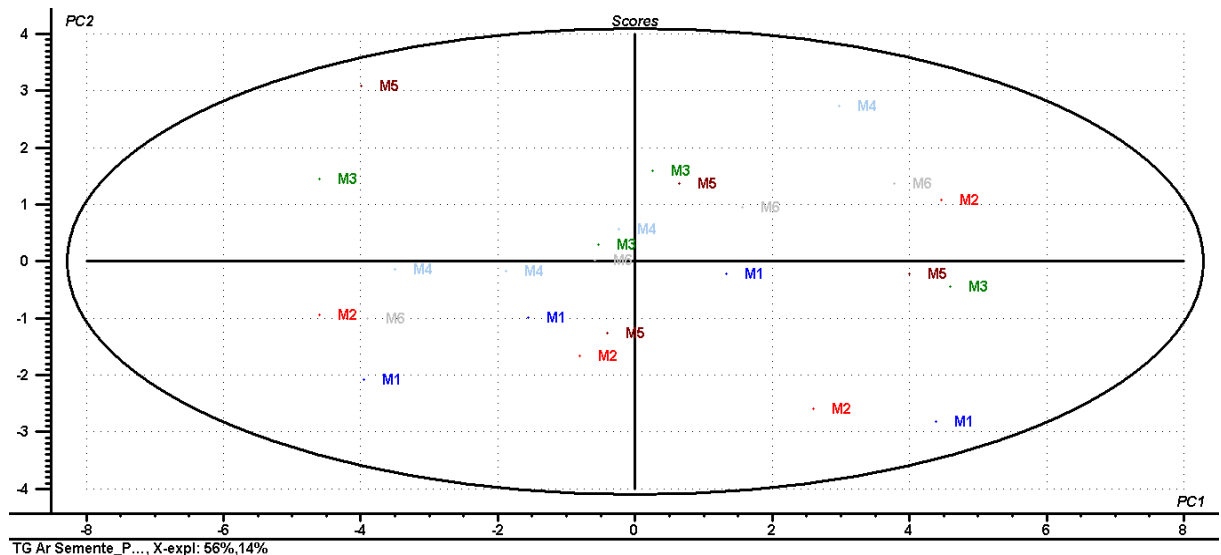


Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se observar no gráfico de *scores* (Figura 29A) que as matrizes se comportam de forma análoga para cada evento de perda de massa indicando similaridade no perfil térmico. No gráfico de *loading* visualizado na figura 29B, as temperaturas inicial e final nos eventos 1, 2, 3, 4, e 5, as razões de aquecimento, assim como as perdas de massa dos eventos 2, 3 e 5 contribuem positivamente para PC1, enquanto que perda de massa no evento 1, perda de massa no evento 4 e % de cinzas contribuem negativamente para PC1.

Visando uma melhor compreensão do resultado obtido utilizou-se a elipse Hotelling T2, que possibilitou visualizar que todos os pontos estão distribuídos dentro do limite de confiança de 95% para todas as seis matrizes avaliadas (Figura 30).

Figura 30- PCA para os dados da Termogravimetria (TG) de sementes de *C. jamacaru* em fluxo de Ar com aplicação da elipse de Hotelling T2



Fonte: Dados da pesquisa.

Este resultado revela que aplicação da PCA para o estudo térmico das sementes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6, embora não se tenha visualização de padrões nesta análise, é possível avaliar a confiabilidade dos dados obtidos no estudo térmico.

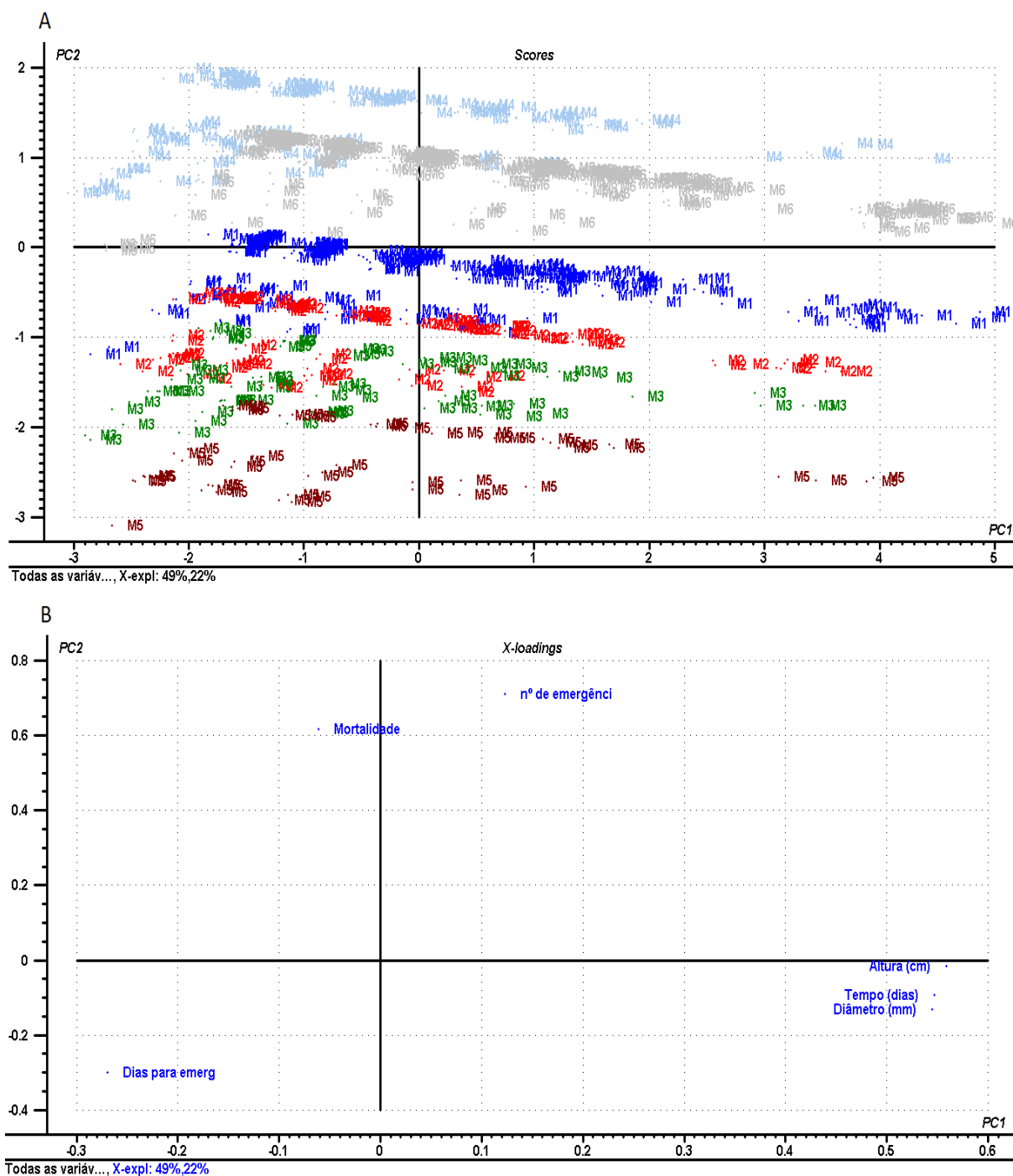
5.3.3 PCA aplicada à produção vegetal de *C. jamacaru*

Na produção vegetal, realizou-se PCA com os dados coletados experimentalmente durante o período de monitoramento, obtendo-se os seguintes resultados para estas análises:

O uso da PCA possibilitou uma visão geral do padrão de comportamento fisiológico das plantas juvenis descendentes de M1, M2, M3, M4, M5 e M6 durante o processo de crescimento das mesmas (Figura 31). O gráfico de *scores* revelou que os indivíduos gerados das sementes das plantas matrizes avaliadas apresentaram padrão bem definido (Figura 31A), com uma visível diferença entre os descendentes das matrizes observados, permitindo a caracterização dos mesmos quanto a emergência, crescimento e desenvolvimento. Os componentes principais PC1 e PC2 contribuíram para explicar em 71 % da variância presente

nos dados, com PC1 representando 49% da variação total, enquanto PC2 representou 21% desta variação.

Figura 31 - PCA da produção vegetal: (A) Gráfico dos *scores* mostrando a relação entre os indivíduos juvenis de *C. jamacaru* monitorados, descendentes de cada M, durante o período de observação do desenvolvimento; (B) Gráfico dos *loading* considerando todos os parâmetros avaliados no monitoramento



Fonte: Acervo do próprio autor.

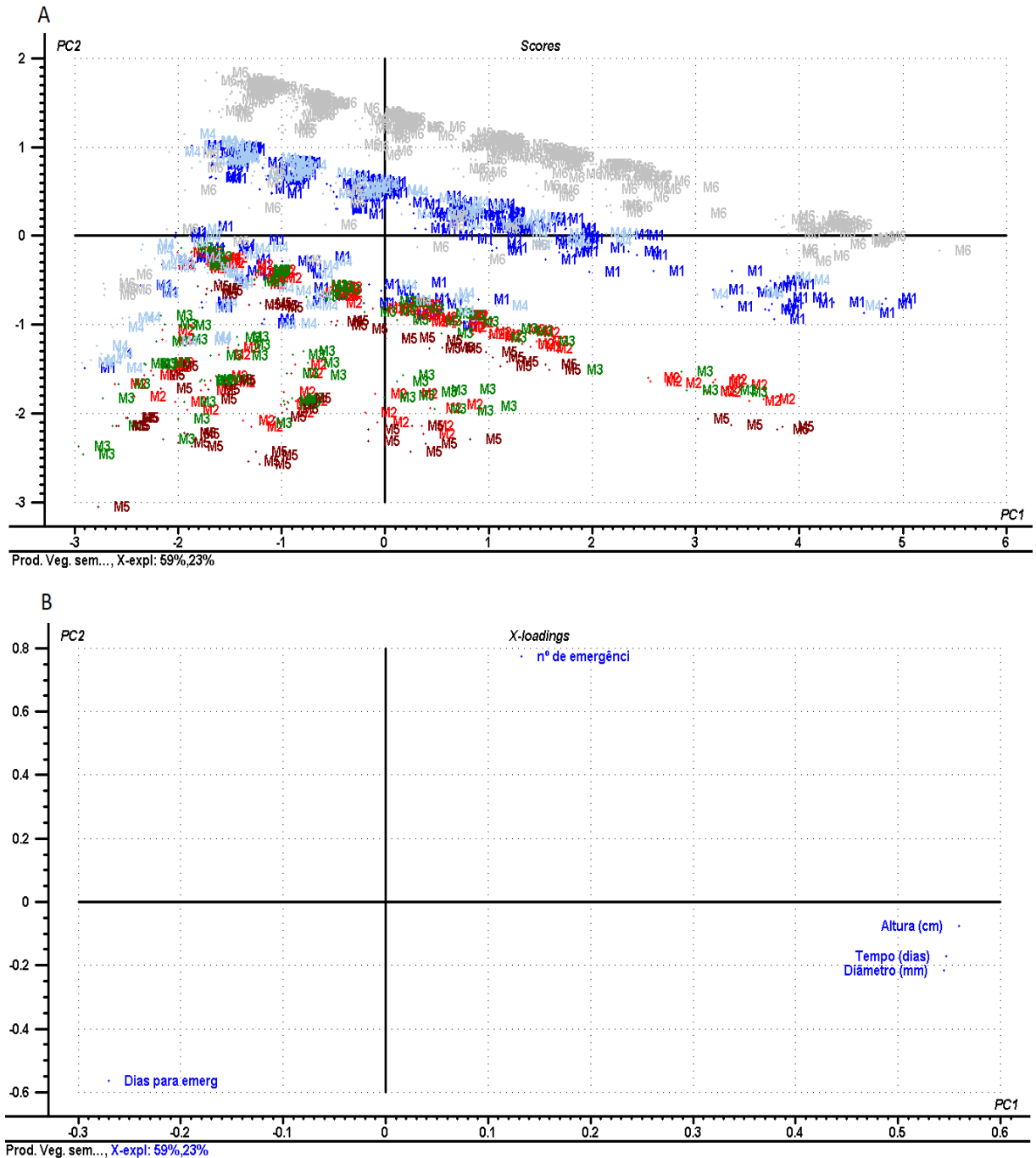
No gráfico de *loading* na Figura 31B, observando-se ao longo do eixo da PC1, as variáveis que mais influenciam diretamente na produção dos indivíduos juvenis (valores positivos) são: número de emergência, altura (parte aérea), tempo de realização das medidas (dias) e diâmetro ao nível do solo, enquanto que mortalidade e dias para emergir (valores negativos) para PC1 influenciaram negativamente esta componente. Para PC2, número de emergência e mortalidade teve contribuição positiva, e são responsáveis pelo comportamento do agrupamento dos indivíduos gerados de M4. A altura (parte aérea), tempo de realização das medidas (dias), diâmetro ao nível do solo e dias para emergir contribuíram negativamente para essa componente.

Observando a influência dos parâmetros avaliados para os resultados da PCA na produção vegetal na Figura 31, verificou-se que ao considerar os dados de mortalidade M6 não era devidamente representada em relação aos resultados coletados na prática, desta forma, processaram-se novamente os dados desconsiderando a mortalidade dos indivíduos por matriz, e assim foi possível averiguar o comportamento amostral que melhor representou os resultados práticos observados.

Nesta nova PCA, retratada na Figura 32, foi possível observar graficamente os resultados obtidos na análise dos dados sem considerar o parâmetro mortalidade, no qual as duas primeiras PCs contribuíram com 82% da variância dentro do conjunto de dados, sendo 59% da variância total descrita pela primeira componente principal. Na Tabela 5 estão registrados os dados originais referentes à mortalidade dos indivíduos no experimento da produção vegetal.

Segundo o gráfico de *scores* (Figura 32A), o agrupamento das amostras (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) demonstrou que a localização geográfica das plantas matrizes coletadas não influenciou nos resultados obtidos para a produção vegetal de *C. jamaru*, uma vez que M1, M2 e M3 são referentes às plantas matrizes coletadas em Sumé, enquanto que M4, M5 e M6 se referem às coletadas em Monteiro. No entanto, os agrupamentos de indivíduos juvenis produzidos de cada matriz apresentam características próprias e diferem entre si, sendo possível a visualização de alguns padrões utilizando a análise de PCA.

Figura 32 - PCA da produção vegetal de *C. jamaru* desconsiderando os dados de mortalidade: (A) Gráfico dos *scores* mostrando o comportamento dos agrupamentos de indivíduos juvenis de *C. jamaru* de cada matriz trabalhada (M1 cor azul; M2 cor vermelha; M3 cor verde; M4 cor azul claro; M5 cor vinho e M6 cor cinza); (B) Gráfico dos *loadings*: sem o descritor mortalidade



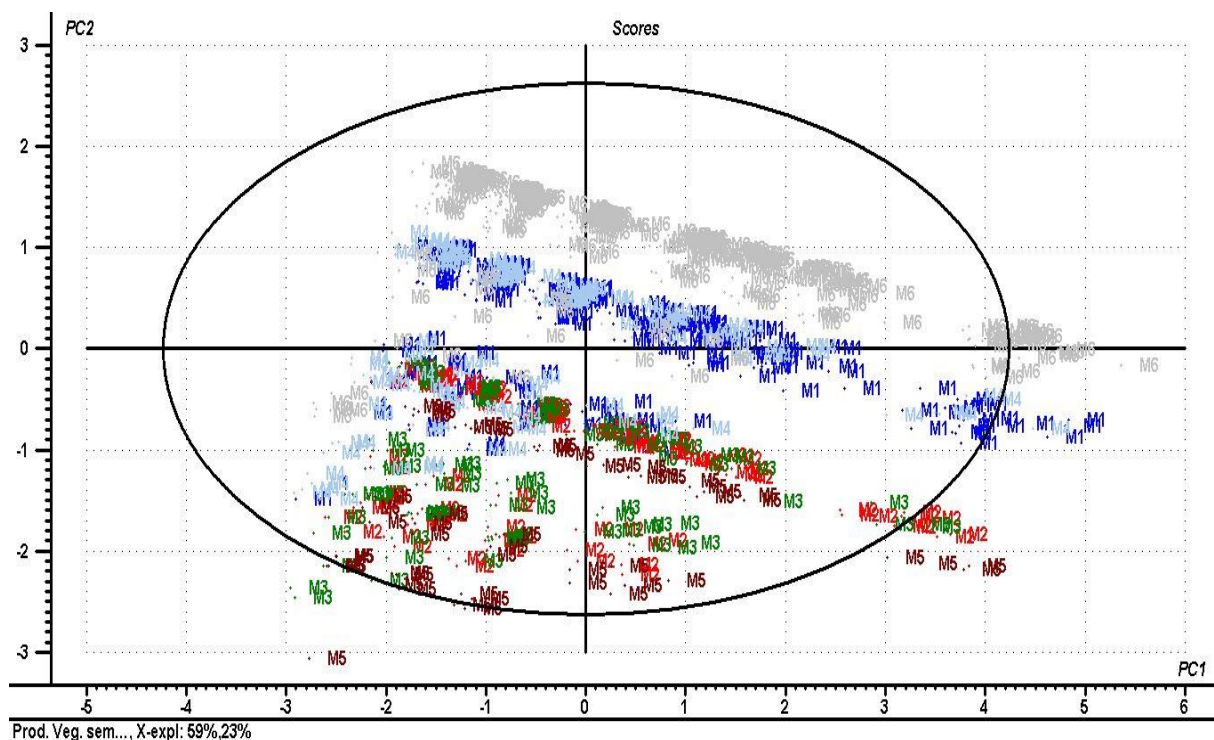
Fonte: Dados da pesquisa.

O gráfico de *loading* (Figura 32B) permite avaliar que o agrupamento dos indivíduos juvenis oriundos de M6 foi o que apresentou melhor resultado em relação aos parâmetros avaliados neste estudo, com maior número de emergência, menos dias para emergir, maior

altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo, seguido por M1 e M4, ambos com o mesmo número de emergência. Entretanto, M1 obteve indivíduos com melhor desenvolvimento e crescimento (maior altura da parte aérea e diâmetro ao nível do solo) que M4. Oposto a estes, têm-se os resultados referentes ao agrupamento de M5, que obteve o pior resultado na produção vegetal, mesmo sendo originado de sementes de uma planta matriz com a mesma localização geográfica de M6.

Aplicando-se a ferramenta elipse Hotelling T2 (Figura 33) aos resultados alcançados na PCA da produção vegetal, sem o descritor mortalidade, foi possível avaliar que a maior parte dos indivíduos juvenis produzidos das matrizes estudadas estão dentro do limite de confiabilidade, tendo a maioria dos dados atingido 95% de confiança.

Figura 33 - PCA da produção vegetal de *C. jamacaru* para as seis matrizes trabalhadas (M1 cor azul; M2 cor vermelha; M3 cor verde; M4 cor azul claro; M5 cor vinho e M6 cor cinza) usando a elipse de Hotelling T2, sem o descritor mortalidade



Fonte: Dados da pesquisa.

6 CONCLUSÃO

No estudo biométrico, os frutos provenientes de M5 apresentaram os maiores valores para: massa fresca, comprimento, diâmetro e número de sementes por fruto; sendo M1 a matriz que obteve os menores valores para os respectivos parâmetros avaliados. Quanto às sementes, o estudo revelou que M5 e M6 apresentaram valores de massa fresca equivalente e maior que as demais matrizes.

Na produção vegetal o maior percentual de emergência foi registrado para M6 com valor de 68,75 %, o segundo melhor resultado foi registrado para M1 e M4 que apresentaram o mesmo percentual de emergência no valor de 53,75 %, sendo as sementes originárias de M5 responsáveis pela menor taxa de emergência verificada nas matrizes avaliadas. Embora, M5 e M6 tenham apresentado, de forma geral, maiores valores para parâmetros avaliados na biometria das sementes, na produção vegetal M5 não obteve o mesmo desempenho no percentual de emergência observado para M6, indicando que o bom desempenho da produção vegetal do *C. jamaru* não está relacionado apenas a fatores biométricos, mas pode estar associado a propriedades intrínsecas referentes à planta matriz responsável pela produção da semente. Quanto ao crescimento, os indivíduos gerados de M6 apresentaram maiores valores para todos os parâmetros avaliados, seguido por M1 e M4.

O estudo termogravimétrico na razão de aquecimento $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ revelou que as sementes das seis matrizes de *C. jamaru* apresentaram cinco eventos de degradação de massa em atmosfera de ar sintético, entretanto, na atmosfera de nitrogênio nessa mesma razão de aquecimento, observaram-se quatro eventos de degradação para as sementes das matrizes avaliadas, exceto para M1, que apresentou cinco eventos, comportamento similar ao apresentado em atmosfera de ar sintético.

As curvas térmicas diferenciais mostraram três eventos exotérmicos para sementes trituradas de M1, M2, M3, M5 e M6, com pico variando entre $354,0\text{--}358,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $492,9\text{--}508,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $509,8\text{--}523,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, tendo M4 apresentado comportamento diferenciado com quatro eventos exotérmicos, com pico nos respectivos valores: $352,3$; $503,3$ $519,0$ e $528,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na DTA executada para sementes inteiras de M2 e M5, observou-se em ambas as matrizes avaliadas a presença de dois eventos exotérmicos, sendo M2 com pico variando entre $349,2\text{--}355,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $538,3\text{--}543,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, e M5 com pico variando entre $361,8\text{--}374,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $537,7\text{--}551,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Avaliando de forma geral as curvas TG e DTA, os resultados indicaram similaridade entre os perfis térmicos para as sementes das plantas matrizes de *C. jamaru*.

A determinação dos parâmetros cinéticos de Ozawa mostrou que dentre as sementes das matrizes analisadas M4 foi a matriz de maior energia de ativação, verificou-se ainda que os valores da energia de ativação para as sementes de M1 e M6 são equivalentes.

Os resultados obtidos através da PCA para a biometria de frutos e sementes das matrizes coletadas de *C. jamacaru* evidenciaram a variabilidade biométrica entre as plantas matrizes, a qual pode ser uma característica intrínseca a espécie.

O estudo realizado indicou ainda que a aplicação da PCA para avaliação de perfil térmico de sementes de *C. jamacaru* não fornece visualização de padrão determinado entre as matrizes avaliadas. Entretanto, o uso da PCA aplicada para avaliação da produção vegetal revelou-se como uma excelente ferramenta para estudo de diferenciação e caracterização entre as matrizes de *C. jamacaru* avaliadas, possibilitando a determinação da matriz com maior potencial produtivo, sendo M6 detentora do melhor desempenho na produção vegetal para esta espécie.

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.
- AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Meteorologia – Chuvas**. 2018. AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>> Acesso em 18 de out. 2018.
- AGRA, M. F.; BARACHO, G. S.; BASÍLIO, I. J. D.; NURIT, K.; COELHO, V. P.; BARBOSA, D. A. **Sinopse da flora medicinal do Cariri Paraibano**. Oecol. Bras., v. 11, n. 3, p.323-330, 2007.
- ALBUQUERQUE, U. P.; MONTEIRO, J. M.; RAMOS, M. A.; AMORIM, E. L. Medicinal and magic plants from a public market in northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 110, p. 76-91, 2007.
- ALENCAR, N. L. M. **Fisiologia, bioquímica e morfologia da germinação de mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2009. 111 f.
- ALENCAR, N. L. M.; INNECCO, R.; GOMES-FILHO, E.; GALLÃO, M. I.; ALVAREZ-PIZARRO, J.; PRISCO, J. T.; OLIVEIRA, A. B. Seed reserve composition and mobilization during germination and early seedling establishment of *Cereus jamacaru* D.C. ssp. *jamacaru* (Cactaceae). **An Acad Bras Cienc**, v. 84, n. 3, p. 823-832, 2012.
- ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; FREIRE, R. M. M.; VALENÇAS, A. R. Caracterização física e físico-química de frutos do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.1, p.15-20, 2009.
- ARAGÃO, C. F. S.; SOUZA, F. S.; BARROS, A. C. S.; VERAS, J. W. E.; BARBOSA FILHO, J. M.; MACEDO, R. O. Aplicação da termogravimetria (TG) no controle de qualidade da milona (*Cissampelos sympodialis* Eichl.) Menispermaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 12, supl., p. 60-61, 2002.
- ARAÚJO, A. A. S.; MERCURI, L. P.; SEIXAS, S. R. S.; STORPIRTIS, S.; MATOS, J. R. Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica. **Rev. Bras. Cienc. Farm.**, abr./jun 2006, v. 42, n. 2, p. 269-277.
- ARAÚJO, S. M. S. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica**, ano 5, n. 5, p. 89-98, dez. 2011.
- ARAÚJO, T. A. S.; ALENCAR, N. L.; AMORIM, E. L. C.; ALBUQUERQUE, U. P. A new approach to study medicinal plants with tannins and flavonoids contents from the local knowledge. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 120, p. 72-80, 2008.

BEEBE, K. R.; KOWALSKI, B. R. An introduction to multivariate calibration and analysis. **Anal. Chem.**, Seattle, v. 59, n. 17, p. 1007–1016, 1 de set. 1987.

BENÍCIO, D. A.; QUEIROGA NETO, V.; SOUSA, J. G. Avaliação das propriedades físico-químicas e da composição química parcial do óleo de sementes de Nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss), cultivado no município de Patos - Paraíba. **Revista de Biologia e Farmácia**, v. 4, n. 2, p. 22-33, 2010.

BEZERRA, F. T. C.; ANDRADE, L. A.; BEZERRA, M. A. F.; SILVA, M. L. M.; NUNES, R. C. R.; COSTA, E.G. Biometria de frutos e sementes e tratamentos pré-germinativos em *Cassia fistula* L. (Fabaceae-Caesalpinoidae). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, suplemento, p. 2273-2286, 2014.

BIBLIOTECA DIGITAL DE LA MEDICINA TRADICIONAL MEXICANA. **Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana**. 2009. Disponível em: <<http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/atlas.php?letra=C&mo=list>>. Acesso em: 05 de fev. 2017.

BRANDÃO, D. O.; GUIMARÃES, G. P.; SANTOS, R. L.; RAMOS JÚNIOR, F. J. L.; SILVA, K. M. A.; SOUZA, F. S.; MACÊDO, R. O. Model Analytical Development for Physical, Chemical, and Biological Characterization of *Momordica charantia* Vegetable Drug, **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, 2016. 15 p.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L; CAMPOS, J. N. B. A questão da água no semiárido brasileiro. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Orgs.). **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. Cap. 5, p. 81-91.

CORREIA, L. P.; PROCÓPIO, J. V. V.; SANTANA, C. P.; PINTO, M. F.; MOURA, E. A.; SANTOS, A. F. O.; MACÊDO, R. O. Herbal medicine physical quality evaluation by thermal analysis using adapted Ozawa method. **J Therm Anal Calorim**, Budapeste, p. 122:207–214, 2015.

CUINICA, L. G., MACÊDO, R. O. Thermoanalytical characterization of plant drug and extract of *Urtica dioica* L. and kinetic parameters analysis. **J Therm Anal Calorim**, Budapeste, p. 591-602, 2018.

DAMM, K.; FARIAS, N. A Bomba d' Água Popular e a construção do programa BAP. In: KÜSTER, A.; MARTÍ, J. F.; MELCHERS I. (Orgs). **Tecnologias. Apropriadas para Terras Secas - Manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas no Nordeste do Brasil** - Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, GTZ, 2006, p. 139-156.

DAVET, A. **Estudo Fitoquímico e biológico do cacto – *Cereus jamacaru* De Candolle, Cactaceae**. 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005, 121 f.

DAVET, A.; CARVALHO, J. L. S.; DADALT, R. C.; VIRTUOSO, S.; DIAS, J. F. G.; MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G. *Cereus jamacaru*: a non buffered LC quantification method to nitrogen compounds. **Chromatographia**. v. 69, S245–S247, 2009a.

DAVET, A.; VIRTUOSO, S.; DIAS, J. F. G.; MIGUEL, M. D.; OLIVEIRA, A. B.; MIGUEL, O. G. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. **Revista Brasileira de Farmacologia**, v. 19, p. 561-564, 2009b.

FALCO, B.; INCERTI, G.; BOCHICCHIO, R.; PHILLIPS, T. D.; AMATO, M.; LANZOTTI, V. Metabolomic analysis of *Salvia hispanica* seeds using NMR spectroscopy and multivariate data analysis. **Industrial Crops and Products**, v. 99, p. 86–96, 2017.

FARMACOPEIA BRASILEIRA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, v. 1, 546 p. Brasília: Anvisa, 2010.

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.

GOMES, A. C.; SOUTO, J. S.; LACERDA, A. V.; LOPES, I. A. P. Riqueza e Distribuição de Macroartropodes Edáficos em Clareiras de Caatinga no Semiárido da Paraíba, Brasil. In: GARCÍA, M.; SEABRA, G. (Org.). **Conferencia de la tierra – paisajes, suelos y biodiversidad: desafíos para un buen vivir**. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Central de Chile, 2016. 1746 p.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; BRUNO, R. D. L. A.; BRAGA-JÚNIOR, J. M.; MEDEIROS, M. S. D. Germinação de sementes de *Cereus jamacaru* D.C. em diferentes substratos e temperaturas. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. v. 31, n. 2, 159-164, 2009.

GUIMARÃES, G. P.; SANTOS, R. L.; BRANDÃO, D. O.; CARTAXO-FURTADO, N. A. O.; CAVALCANTI, A. L. M.; MACÊDO, R. O. Thermoanalytical characterization of herbal drugs from *Poincianella pyramidalis* in different particle sizes. **J Therm Anal Calorim**, Budapeste, 2017, 10 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. n. 1, 1271p. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2010. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 24 de ago. 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4. ed. (1. ed. digital), 1020 p. São Paulo: IAL, 2008.

IONASHIRO, M. **GIOLITO**: Fundamentos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial/ Calorimetria Exploratória Diferencial. São Paulo: Giz Editorial, 2005.

KÜSTER, A.; MARTÍ, J. F. Tecnologias para o semi-árido nordestino. In: KÜSTER, A.; MARTÍ, J. F.; MELCHERS I. (Orgs). **Tecnologias. Apropriadas para Terras Secas - Manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas no Nordeste do Brasil** - Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, GTZ 2006. p. 15-19.

- LEITE, R. S.; SOUZA, V. G.; SALVADOR, I. S.; OLIVEIRA, A. H.; NETO, A. L.; BASÍLIO, I. L. D.; ARAGÃO, C. F. S.; MACÊDO, R. O.; SOUZA, F. S. Evaluation of compatibility between dried extracts of *Myracrodruon urundeuva* Allemão and pharmaceutical excipients by TG and DTA. **J Therm Anal Calorim**, Budapeste, p. 633–639, 2017.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. M. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. 2. ed. Nova Odessa, SP, 2008. p. 197.
- MACÊDO, R. O. **Controle de Qualidade de Formas Farmacêuticas Sólidas Através de Dados Termogravimétricos**. 1996. Tese (Professor Titular) - Departamento de Ciências Farmacêuticas, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- MACÊDO, R. O.; NASCIMENTO, T. G.; ARAGÃO, C. F. S.; GOMES, A. P. B. Application of thermal analysis in the characterization of anti-hypertensive drugs. **J. Therm. Anal. Calorim**, Budapeste, v.59, n.3, p. 657-661, 2000.
- MACHADO, M.; MENEZES, M. O. T.; SANTOS, M. R.; PRIETO, P. V.; HERING, R. L. O.; BARROS, F. S. M.; BORGES, R. A. X.; KUTSCHENKO, D. C.; VALENTE, A. S. M. Cactaceae. In: MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. (Orgs.). **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. 1.ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. p. 402-431.
- MACKENZIE, R. C. Nomenclature in termal analysis, part IV. **Thermochimica Acta**, v.28, p.1-6, 1979.
- MARINHO, M. G. V.; SILVA, C. C.; ANDRADE, L. H. C. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais em área de caatinga no município de São José de Espinharas, Paraíba, Brasil. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Botucatu, v.13, n.2, p.170-182, 2011.
- MATOS, J. R.; MERCURI, L. P.; ARAUJO, G. L. B. Aspectos gerais relativos ao desenvolvimento farmacotécnico de medicamento: análise térmica aplicada a fármacos e medicamentos. In: STORPIRTIS, S.; GONÇALVES, J. E.; CHIANN, C.; GAI, M. N. (Eds.). p. 32-65. **Biofarmacotécnica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
- MEIADO, M. V.; ALBUQUERQUE, L. S. C.; ROCHA, E. A.; ROJAS-ARÉCHIGA M.; LEAL, I. R. Seed germination responses of *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) to environmental factors. **Plant Species Biology**, v. 25, p. 120-128, 2010.
- MIBEI, E. K.; OWINO, W. O.; AMBUKO, J.; GIOVANNONI, J. J.; ONYANGO, A. N. Metabolomic analyses to evaluate the effect of water stress on selected African Eggplant accessions. **J. Sci. Food Agric**, v. 98, p. 205–216, 2018.
- MORAIS, D. S. C. **Avaliação das atividades antioxidantes e citotóxicas de extratos ricos em polissacarídeos extraídos de hastes de Mandacaru (*Cereus jamacaru* De Candolle, Cactaceae)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Natal - RN, 2013. 65 f.
- NUNES, T. J. O. **Estratégias de Adensamento do Umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Cam.) em Áreas de Caatinga no Semiárido Paraibano**. Monografia (Graduação – Curso Superior de em Agroecologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – PB, 2013. 44 f.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p. 147–153, 2015.

PANERO, F. S.; VIEIRA, M. F. P.; CRUZ, Â. M. F.; MOURA, M. F. V.; SILVA, H. E. B. Aplicação da análise exploratória de dados na discriminação geográfica do quiabo do Rio Grande do Norte e Pernambuco. **Ecl. Quím.**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 33-40, 2009.

PEREIRA, C. A; SCHNITZLER E.; CARVALHO FILHO, M. A. S. Estudo termoanalítico (TG, DTG, e DSC) dos cafés in natura e processados. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 11, n. 1, p. 61-66, abr. 2005.

ROCHA, E. A.; AGRA, M. F. Flora do Pico do Jabre, Brasil: Cacteaceae juss. **Acta Botânica Brasileira**, n.16, p.15-21, 2002.

SALES, M. S. L.; 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: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 20, n. 2, p. 135-142, 2014.

SÃO PAULO. Centro de Vigilância Sanitária. **Portaria CVS-6 de 10 de março de 1999:** Regulamento técnico sobre: Parâmetros critérios para o controle higiênico sanitário em estabelecimentos de alimentos. Disponível em: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/E_PT-CVS-06_100399.pdf>. Acesso em: 13 de set. 2018.

SENA, M. M.; POPPI, R. J.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solos. **Quím. Nova**, v. 23, n. 4, p. 547-556, 2000.

SILVA, E. C.; PAOLA, M. V. R. V.; MATOS, J. R. Análise térmica aplicada à cosmetologia. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. v. 43, n. 3, jul./set. 2007.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E.; Caracterização físico-química de frutos de mandacaru. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 7, n.2, p.199-205, abr./jun. 2009.

SOUSA, R. A.; NETO, W. B.; POPPI, R. J.; BACCAM, N.; CADORE, S. Classificação de Água de Coco Processada e Natural por meio de HCA, PCA e Teores de Íons Metálicos Determinados por ICP OES. **Quím. Nova**, v. 29, n. 4, p. 654-656, jul. 2006.

SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, Parte I. **Quím. Nova**, v. 35, p. 223-229, 2012.

SOUZA, S. P. M. C. **Determinação do teor de cálcio através da termogravimetria em medicamentos utilizados no tratamento da osteoporose: um estudo comparativo.** Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. 114 f.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Nova Delimitação Semiárido**. 2017. Disponível em: <http://sudene.gov.br/images/arquivos/semiariado/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf> Acesso em: 06 Dez. 2018.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). **ECORREGIÕES: Proposta para o Bioma Caatinga**. Recife, PE: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76 p.

WENDLANDT, W. W. Thermal analysis. **Anal. Chem.**, v. 58, n. 5, p. 5-6, 1986.

YAMAGUCHI, L. F.; FREITAS, G. C.; YOSHIDA, N. C.; SILVA, R. A.; GAIA, A. M.; SILVA, A. M.; SCOTTI, M. T.; EMERENCIANO, V. P.; GUIMARÃES, E. F.; FLOH, E. I. S.; COLOMBO, C. A.; SIQUEIRA, W. J.; KATO, M. J. Chemometric analysis of ESIMS and NMR data from Piper species. **J Braz Chem Soc**, v. 22, n. 12, p. 2371–2382, 2011.

ZAPPI, D.; RIBEIRO-SILVA, S.; AONA, L. Y. S.; TAYLOR, N. Aspectos Ecológicos e Biologia Reprodutiva. In: RIBEIRO-SILVA, S.; ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; MACHADO, M. (Orgs.). **Plano de ação nacional para a conservação das cactáceas**. ICMBio, Brasília, p.38-43, 2011.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; LAROCCA, J. A riqueza das Cactaceae no Brasil. In: RIBEIRO-SILVA, S.; ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; MACHADO, M. (Orgs.). **Plano de ação nacional para a conservação das cactáceas**. ICMBio, Brasília, p.15-26, 2011.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; MACHADO, M. C. Cactaceae, 2010. In: FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, F. A.; BICUDO, C. E. M.; CANHOS, D. A. L.; CARVALHO JR., A. A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; NICOLU GHADHA, E.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; NADRUZ COELHO, M. A.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, S.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. (Eds.). **Catálogo de Plantas e Fungos do Brasil**, Rio de Janeiro, Jardim Botânico, v. 1, p. 822-832, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Exemplo de entrada de dados utilizados na PCA para a biometria dos frutos das matrizes estudadas com os descritores trabalhados

	A	B	C	D	E	F	G
1	ID	MATRIZ	LOCAL	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Massa (g)	Semente/fruto
2	1	M1	Sumé	55.3	44.54	59.976	385
3	2	M1	Sumé	58.27	43.05	54.335	340
4	3	M1	Sumé	63.05	50.3	78.412	530
5	4	M1	Sumé	72.53	54.12	103.79	1028
6	5	M1	Sumé	82.61	56.28	130.316	1494
7	6	M1	Sumé	85.3	57.73	140.476	1248
8	7	M1	Sumé	77.3	56.8	128.74	1072
9	8	M1	Sumé	81.21	62.75	177.199	1916
10	9	M1	Sumé	92.5	65.5	181.976	2122
11	10	M1	Sumé	94.08	69.94	222.548	2483
12	11	M1	Sumé	87.52	60.19	194.845	2071
13	12	M1	Sumé	100.2	63.66	198.155	2419
14	1	M2	Sumé	71.63	43.27	63.951	240
15	2	M2	Sumé	69	40.47	58.691	201
16	3	M2	Sumé	79.04	43.41	81.679	422
17	4	M2	Sumé	70.31	44.57	72.341	302
18	5	M2	Sumé	73	43.28	71.977	385
19	6	M2	Sumé	70.74	43.66	67.691	224
20	7	M2	Sumé	69.37	44	66.509	322
21	8	M2	Sumé	78.44	47.9	86.903	567
22	9	M2	Sumé	80.05	51.82	108.209	554
23	10	M2	Sumé	82.54	52.94	114.24	968
24	11	M2	Sumé	90.1	55.11	130.957	1131
25	12	M2	Sumé	85.76	55.01	129.741	980
26	13	M2	Sumé	90.47	54.93	132.873	865
27	14	M2	Sumé	100.22	56.04	166.283	1664
28	15	M2	Sumé	97.97	60.39	162.455	1034
29	16	M2	Sumé	102.7	54.58	174.636	1519
30	17	M2	Sumé	91.57	57.21	141.434	1257
31	18	M2	Sumé	101.22	62.02	179.562	1775
32	19	M2	Sumé	100.67	60.03	171.856	2068
33	20	M2	Sumé	102.44	63.64	215.842	2078
34	21	M2	Sumé	105.73	63.7	197.3	2282
35	22	M2	Sumé	107.5	57.73	180.124	2014
36	23	M2	Sumé	102.32	66.15	212.583	2005
37	24	M2	Sumé	109.84	66.07	233.689	2553
38	25	M2	Sumé	107.76	65.7	218.453	2333
39	26	M2	Sumé	101.38	62.58	195.946	2069
40	27	M2	Sumé	109.12	63.13	220.01	2491
41	28	M2	Sumé	104.62	69.05	237.971	2605
42	29	M2	Sumé	100.28	64.98	199.933	2342
43	30	M2	Sumé	111.54	65.02	222.444	2284
44	31	M2	Sumé	100.2	69.47	265.116	2809
45	1	M3	Sumé	67	43.59	67.23	349
46	2	M3	Sumé	83.64	68.73	185.516	1100
47	3	M3	Sumé	101.68	61.07	185.28	1599
48	4	M3	Sumé	94.95	69.27	228.614	1699
49	5	M3	Sumé	91	71.36	224.271	1608
50	6	M3	Sumé	104.46	65.6	225.995	2599
51	7	M3	Sumé	105.97	65.81	231.429	2439
52	8	M3	Sumé	99.79	69	244.804	1756
53	9	M3	Sumé	111.01	63.39	234.047	2731
54	1	M4	Monteiro	63.02	42.28	54.449	196
55	2	M4	Monteiro	78.3	52.22	102.456	511
56	3	M4	Monteiro	74.74	42.33	78.224	397
57	4	M4	Monteiro	87.65	55.72	126.899	2217
58	5	M4	Monteiro	98.92	58.08	167.307	2728
59	6	M4	Monteiro	93.84	54.34	131.349	883
60	7	M4	Monteiro	98.66	63.7	179.615	2367
61	8	M4	Monteiro	96.84	68.44	219.115	1836
62	9	M4	Monteiro	101.3	66.09	206.892	2846
63	10	M4	Monteiro	104.5	56.96	162.926	2905
64	11	M4	Monteiro	108.62	61.26	197.603	2875
65	12	M4	Monteiro	107.56	60.14	190.117	2847
66	1	M5	Monteiro	79.38	58.81	136.088	1086

APÊNDICE B - Exemplo de entrada de dados utilizados na PCA para a biometria das sementes das matrizes estudadas com os descritores trabalhados

	A	B	C	D	E	F	G
1	ID	MATRIZ	LOCAL	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Massa (g)
2	1	M1	Sumé	3.23	1.84	1.11	0.0022
3	2	M1	Sumé	3.02	2	1.19	0.0036
4	3	M1	Sumé	3.21	1.87	1.3	0.0036
5	4	M1	Sumé	3.06	1.91	1.11	0.0024
6	5	M1	Sumé	3.1	2.1	1.27	0.0043
7	6	M1	Sumé	3.18	1.91	1.19	0.0044
8	7	M1	Sumé	3.19	1.74	1.15	0.0035
9	8	M1	Sumé	3.13	1.86	1.07	0.0042
10	9	M1	Sumé	3.03	1.95	1.21	0.0035
11	10	M1	Sumé	3.21	1.86	1.21	0.0031
12	11	M1	Sumé	3.09	1.91	1.12	0.0033
13	12	M1	Sumé	3.23	1.94	1.25	0.0038
14	13	M1	Sumé	3.12	1.79	1.13	0.0036
15	14	M1	Sumé	3.16	1.96	1.14	0.0037
16	15	M1	Sumé	3.11	1.91	1.07	0.0035
17	16	M1	Sumé	3.25	2.07	1.16	0.003
18	17	M1	Sumé	2.91	1.86	1.16	0.002
19	18	M1	Sumé	3.14	1.95	1.16	0.0036
20	19	M1	Sumé	3	1.96	1.23	0.0036
21	20	M1	Sumé	3.13	1.94	1.27	0.0044
22	21	M1	Sumé	3.01	1.98	1.16	0.0034
23	22	M1	Sumé	3.09	1.88	1.15	0.0034
24	23	M1	Sumé	3.07	1.93	1.14	0.0034
25	24	M1	Sumé	3.23	2.01	1.12	0.0039
26	25	M1	Sumé	3.19	1.98	1.19	0.0039
27	26	M1	Sumé	3.13	1.92	1.18	0.0032
28	27	M1	Sumé	3.11	1.83	1.26	0.0036
29	28	M1	Sumé	3.11	1.85	1.22	0.0037
30	29	M1	Sumé	3.31	1.87	1.28	0.0037
31	30	M1	Sumé	3.21	1.94	1.15	0.0037
32	31	M1	Sumé	3.01	1.89	1.17	0.0037
33	32	M1	Sumé	3.24	1.9	1.3	0.0037
34	33	M1	Sumé	3.13	1.97	1.19	0.0033
35	34	M1	Sumé	3.16	2.06	1.27	0.0037
36	35	M1	Sumé	3.15	1.78	1.26	0.0038
37	36	M1	Sumé	3.27	1.91	1.22	0.0039
38	37	M1	Sumé	3.2	1.92	1.14	0.0033
39	38	M1	Sumé	3.08	1.87	1.13	0.0032
40	39	M1	Sumé	3.21	1.95	1.24	0.0044
41	40	M1	Sumé	3.15	1.92	1.26	0.0038
42	41	M1	Sumé	2.96	2.04	1.17	0.0037
43	42	M1	Sumé	3.09	1.86	1.26	0.0035
44	43	M1	Sumé	2.99	1.9	1.18	0.0036
45	44	M1	Sumé	3	1.9	1.18	0.0036
46	45	M1	Sumé	3.02	1.79	1.15	0.0032
47	46	M1	Sumé	3.16	1.81	1.14	0.0036
48	47	M1	Sumé	3.09	1.96	1.21	0.0034
49	48	M1	Sumé	2.97	2.01	1.27	0.0025
50	49	M1	Sumé	3.13	2.05	1.2	0.0033
51	50	M1	Sumé	3.09	2.05	1.16	0.0032
52	51	M1	Sumé	3.15	1.96	1.29	0.0038
53	52	M1	Sumé	3.17	2.04	1.23	0.0038
54	53	M1	Sumé	3.02	1.92	1.13	0.0028
55	54	M1	Sumé	3.16	1.98	1.1	0.0036
56	55	M1	Sumé	2.95	1.95	1.09	0.0026
57	56	M1	Sumé	3.14	2	1.25	0.0044
58	57	M1	Sumé	3.18	1.99	1.27	0.0043
59	58	M1	Sumé	3.03	1.89	1.27	0.0037
60	59	M1	Sumé	3.08	2.04	1.31	0.0049
61	60	M1	Sumé	3.12	2.03	1.25	0.0038
62	61	M1	Sumé	3.13	1.86	1.25	0.0036
63	62	M1	Sumé	3.02	1.96	1.23	0.0032
64	63	M1	Sumé	3.22	1.8	1.12	0.0039
65	64	M1	Sumé	3.17	1.85	1.25	0.0037
66	65	M1	Sumé	3.09	1.81	1.12	0.0021

APÊNDICE C - Descritores trabalhados na PCA da Termogravimetria (TG) de sementes de *C. jamaru* das seis matrizes (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) em fluxo de Ar sintético nas razões de aquecimento 5, 10, 20 e 40 °C.min⁻¹

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		
1	ID	MATRIZ	LOCAL	RAZÃO	Ti1	Ti1	Perda de massa1 (%)	Ti2	Ti2	Perda de massa2 (%)	Ti3	Ti3	Perda de massa3 (%)	Ti4	Ti4	Perda de massa4 (%)	Ti5	Ti5	Perda de massa5 (%)	%cinzas (TG)	
2	1	M1	Sumé	5	47.80	97.17	3.571	97.17	239.73	3.972	239.73	324.81	34.343	324.81	493.78	13.561	493.78	552.55	29.147	15.406	
3	2	M1	Sumé		10	47.63	110.05	3.269	110.05	232.96	5.247	232.96	348.20	36.266	348.20	483.71	13.623	483.71	612.08	30.716	10.879
4	3	M1	Sumé		20	52.15	111.63	4.558	111.63	280.13	5.298	280.13	368.13	38.065	368.13	492.28	14.114	492.28	666.67	30.948	7.017
5	4	M1	Sumé		40	60.96	111.98	4.296	111.98	303.82	7.493	303.82	382.79	36.883	382.79	556.06	14.186	556.06	731.67	31.469	5.673
6	1	M2	Sumé	5	48.58	100.8	3.663	100.8	212.08	4.083	212.08	321.51	32.626	321.51	497.09	18.235	497.09	565.94	31.305	10.088	
7	2	M2	Sumé		10	45.20	114.78	3.821	114.78	264.78	4.821	264.78	333.37	36.027	333.37	526.15	15.103	526.15	610.3	31.226	9.002
8	3	M2	Sumé		20	54.15	124.80	3.478	124.80	265.77	5.884	265.77	367.09	37.865	367.09	560.07	13.397	560.07	693.58	32.339	7.037
9	4	M2	Sumé		40	66.81	133.16	4.208	133.16	284.14	6.412	284.14	372.71	37.728	372.71	484.27	12.883	484.27	770.24	32.919	5.850
10	1	M3	Sumé	5	37.35	106.58	4.116	106.58	242.77	5.140	242.77	314.35	28.397	314.35	451.38	19.791	451.38	540.67	33.064	9.492	
11	2	M3	Sumé		10	43.37	121.41	4.480	121.41	253.79	5.193	253.79	347.60	33.063	347.60	509.08	14.985	509.08	607.68	34.628	7.651
12	3	M3	Sumé		20	54.42	122.61	4.096	122.61	246.52	5.081	246.52	355.65	37.377	355.65	464.03	14.297	464.03	609.00	32.749	6.400
13	4	M3	Sumé		40	71.35	125.16	3.448	125.16	275.55	6.441	275.55	385.11	41.994	385.11	482.65	12.089	482.65	762.15	29.191	6.837
14	1	M4	Monteiro	5	36.52	108.82	4.811	108.82	246.14	5.189	246.14	322.26	32.147	322.26	477.46	14.692	477.46	543.99	30.517	12.644	
15	2	M4	Monteiro		10	36.54	111.54	4.760	111.54	231.98	4.939	231.98	345.02	36.248	345.02	492.09	13.842	492.09	599.59	31.408	8.803
16	3	M4	Monteiro		20	47.23	120.93	4.059	120.93	263.12	4.574	263.12	348.11	36.970	348.11	476.89	16.436	476.89	607.95	30.059	7.902
17	4	M4	Monteiro		40	71.73	128.43	4.100	128.43	275.93	4.715	275.93	371.87	36.846	371.87	476.94	13.986	476.94	610.00	36.846	3.507
18	1	M5	Monteiro	5	36.07	105.09	5.130	105.09	239.51	3.772	239.51	325.55	31.497	325.55	440.15	16.048	440.15	570.94	36.068	7.485	
19	2	M5	Monteiro		10	45.23	109.71	4.788	109.71	252.88	5.805	252.88	347.35	36.066	347.35	529.14	14.782	529.14	629.26	32.595	5.964
20	3	M5	Monteiro		20	59.15	116.66	4.306	116.66	260.93	4.326	260.93	364.09	39.274	364.09	461.12	13.756	461.12	620.75	31.360	6.978
21	4	M5	Monteiro		40	70.01	128.40	4.030	128.40	268.71	5.023	268.71	374.74	44.650	374.74	497.34	11.316	497.34	686.80	29.005	5.976
22	1	M6	Monteiro	5	46.44	100.65	3.344	100.65	223.84	3.384	223.84	321.98	35.868	321.98	490.02	13.097	490.02	568.91	32.106	12.201	
23	2	M6	Monteiro		10	58.05	111.42	3.874	111.42	256.69	5.032	256.69	350.39	37.340	350.39	467.49	13.778	467.49	617.19	30.092	9.884
24	3	M6	Monteiro		20	60.02	123.22	3.739	123.22	264.65	4.379	264.65	363.54	37.752	363.54	483.14	11.478	483.14	664.61	34.493	8.159
25	4	M6	Monteiro		40	68.77	129.03	3.708	129.03	283.12	5.243	283.12	366.12	38.955	366.12	479.09	11.882	479.09	724.05	34.250	5.962
26																					

APÊNDICE D - Exemplo de entrada de dados utilizados na PCA para a produção vegetal de *C. jamaru* com os descritores trabalhados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	Matriz	Local	Tempo (dias)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	n° de emergência	Mortalidade	Dias para emergir
2	1	M1	Sumé	30	0.6	3.75	43	1	14
3	2	M1	Sumé	30	0.9	4.45	43	1	29
4	3	M1	Sumé	30	1	4.57	43	1	11
5	4	M1	Sumé	30	1.2	4.41	43	1	5
6	5	M1	Sumé	30	1	4.58	43	1	11
7	6	M1	Sumé	30	0.9	4.24	43	1	20
8	7	M1	Sumé	30	1.1	4.57	43	1	6
9	8	M1	Sumé	30	1.2	4.31	43	1	30
10	9	M1	Sumé	30	1.2	4.28	43	1	14
11	10	M1	Sumé	30	1	4.08	43	1	14
12	11	M1	Sumé	30	1.2	4.25	43	1	11
13	12	M1	Sumé	30	0.7	3.01	43	1	12
14	13	M1	Sumé	30	1	4.01	43	1	15
15	14	M1	Sumé	30	0.9	4.26	43	1	8
16	15	M1	Sumé	30	1	4.65	43	1	29
17	16	M1	Sumé	30	0.9	4.03	43	1	174
18	17	M1	Sumé	30	1	5.01	43	1	90
19	18	M1	Sumé	30	0.9	5.36	43	1	81
20	19	M1	Sumé	30	1	4.42	43	1	122
21	20	M1	Sumé	30	1.2	4.26	43	1	7
22	21	M1	Sumé	30	1	4.5	43	1	6
23	22	M1	Sumé	30	1.1	4.1	43	1	19
24	23	M1	Sumé	30	0.7	4.26	43	1	21
25	24	M1	Sumé	30	0.7	4.1	43	1	118
26	25	M1	Sumé	30	1.1	4.74	43	1	6
27	26	M1	Sumé	30	1.2	4.07	43	1	19
28	27	M1	Sumé	30	1	4.48	43	1	21
29	28	M1	Sumé	30	1	4.24	43	1	75
30	29	M1	Sumé	30	1.4	4.45	43	1	5
31	30	M1	Sumé	30	1	3.64	43	1	187
32	31	M1	Sumé	30	1.1	4.97	43	1	91
33	32	M1	Sumé	30	1.1	4.41	43	1	100
34	33	M1	Sumé	30	1.1	4.7	43	1	5
35	34	M1	Sumé	30	0.7	4.5	43	1	12
36	35	M1	Sumé	30	1	4.03	43	1	14
37	36	M1	Sumé	30	1.1	5.15	43	1	65
38	37	M1	Sumé	30	1	4.42	43	1	18
39	38	M1	Sumé	30	1.2	4.4	43	1	13
40	39	M1	Sumé	30	0.8	4.38	43	1	78
41	1	M1	Sumé	60	2	4.37	43	1	14
42	2	M1	Sumé	60	2.2	4.65	43	1	29
43	3	M1	Sumé	60	2.5	5.19	43	1	11
44	4	M1	Sumé	60	2.2	4.95	43	1	5
45	5	M1	Sumé	60	2.4	5.16	43	1	11
46	6	M1	Sumé	60	2.4	4.96	43	1	20
47	7	M1	Sumé	60	2.9	5.02	43	1	6
48	8	M1	Sumé	60	2.7	5.09	43	1	30
49	9	M1	Sumé	60	3	5.16	43	1	14
50	10	M1	Sumé	60	2.3	5	43	1	14
51	11	M1	Sumé	60	3.1	4.71	43	1	11
52	12	M1	Sumé	60	1.3	4	43	1	12
53	13	M1	Sumé	60	2.3	5.11	43	1	15
54	14	M1	Sumé	60	2.6	4.91	43	1	8
55	15	M1	Sumé	60	2.4	5.14	43	1	29
56	16	M1	Sumé	60	2	6.12	43	1	90
57	17	M1	Sumé	60	2	5.51	43	1	81
58	18	M1	Sumé	60	2	5.06	43	1	122
59	19	M1	Sumé	60	2.4	4.53	43	1	7
60	20	M1	Sumé	60	2	4.67	43	1	6
61	21	M1	Sumé	60	2.3	5.02	43	1	19
62	22	M1	Sumé	60	2	5.37	43	1	21
63	23	M1	Sumé	60	1.4	5.1	43	1	118
64	24	M1	Sumé	60	2.6	5.18	43	1	6
65	25	M1	Sumé	60	2.3	4.95	43	1	19
66	26	M1	Sumé	60	2.2	4.7	43	1	21