



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

ERIFRANKLIN NASCIMENTO SANTOS

**FENOLOGIA DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau, CARACTERIZAÇÃO
MORFOFISIOLÓGICA E CONSERVAÇÃO DE SUAS SEMENTES**

AREIA

2024

ERIFRANKLIN NASCIMENTO SANTOS

**FENOLOGIA DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau, CARACTERIZAÇÃO
MORFOFISIOLÓGICA E CONSERVAÇÃO DE SUAS SEMENTES**

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

Orientadora: Professora Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno

AREIA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237f Santos, Erifranklin Nascimento.

Fenologia de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau,
Caracterização morfofisiológica e conservação de suas
sementes / Erifranklin Nascimento Santos. - Areia,
2024.

133 f. : il.

Orientação: Riselane de Lucena Alcântara Bruno.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Caatinga. 3. Colheita antecipada.
4. Pulsos de precipitação. 5. Descritores
morfofisiológicos. I. Bruno, Riselane de Lucena
Alcântara. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635 (043.2)

ERIFRANKLIN NASCIMENTO SANTOS

FENOLOGIA DE *Tabebuia caraiba* (MART.) Bureau, CARACTERIZAÇÃO
MORFOFISIOLÓGICA E CONSERVAÇÃO DE SUAS SEMENTES

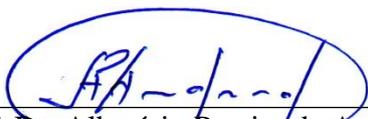
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Aprovado em: 22 /12 / 2020.

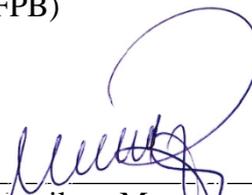
BANCA EXAMINADORA



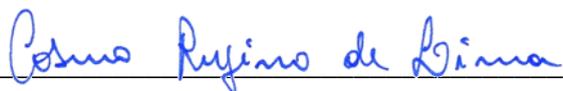
Prof. Dr. Riselane de Lucena Alcântara Bruno
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(UFRPE)



Prof. Dr. Mailson Monteiro do Rêgo
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Cosmo Rufino de Lima
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)



Prof. Dr. Yanna Carolina Ferreira Teles
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

A todos aqueles e aquelas que vieram antes de mim, abrindo caminhos e construindo cada passo para que hoje fosse possível ver um jovem rural, negro e LGBT se tornar doutor, tendo, muitas vezes que dar a vida para isso.

Aos meus avós, Bertolino Alves, Helena Maria, Irene Angélica, e José Alves, por hoje serem a materialização máxima dos meus mais velhos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Deuses, Deusas e Orixás, pelo Dom da vida e por me dar clareza durante a caminhada.

Aos meus pais, Eraldo José dos Santos e Berilene de Souza Nascimento, por serem meu porto mais seguro e sempre certos de que me criaram para mover o mundo, mesmo que as vezes isso não seja fácil.

A minha irmã, Nara Laise, pelo cuidado com nossas vidas, incentivo e confiança.

Aos meus padrinhos Lindaraí de Souza e Adílio Nascimento, por estarem sempre atentos às minhas demandas e prontos a resolvê-las com carinho e cuidado.

A Professora Riselane de Lucena Alcântara Bruno, pela excelente orientação técnica durante o desenvolvimento do trabalho e por todo aprendizado.

Aos Professores Alberício Pereira de Andrade, Cosmo Rufino de Lima, Mailson Monteiro do Rego e Yanna Carolina Ferreira Teles, por aceitarem o convite de participar da banca e contribuir para a melhoria do trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Federal da Paraíba, por ter sido a estrutura capaz de realizar essa etapa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

A Ivandro Batista, Bárbara, Igor, Jânio e toda a família Queiroz, que durante minha estadia na Paraíba foram também minha família me dando suporte e acolhimento.

A Ana Carolina, Laura Pedroza e Roberto Tavares, pelo auxílio nas exaustivas idas a campo, condução dos experimentos e as prosas trocadas durante todo o desenvolvimento do trabalho.

A Professora Anna Christina Passos, por ter me iniciado no caminho da pesquisa acadêmica e continuar sempre achando que eu posso mais.

Às minhas primas Juliana Pereira e Kedma Pinto, por terem gestado esse sonho comigo desde 2008, abrindo os caminhos e serem referência para mim.

A Lucas Vieira Barros, pelas contribuições nos primeiros passos rumo a este título, e pela admiração sempre dedicada ao trabalho realizado por mim.

A Angela Maria Pessoa, pelos conselhos acadêmicos e pessoais, disponibilidade para execução dos experimentos e todas as palavras de incentivo na certeza de que somos grandes.

A Maria das Graças do Nascimento, Rosemere Silva e Maria Lúcia Maurício, por estarem sempre atentas ao desenvolvimento do meu trabalho e contribuindo em como ele podia ser melhor.

A Seu Zé Galego, proprietário da área em São João do Cariri, pela parceria de sempre.

A Bráulio Japiassu, proprietário da área em Sumé, pela confiança e entendimento da necessidade do estudo.

A Ronaldo Pereira, Lucas Gonçalves, Neyber Ribeiro e Cláudia Ferreira, que garantiram logística e transporte por diversas vezes durante as avaliações de campo, mesmo em tempos de grande aperto orçamentário.

A Professora Edna Ursulino, coordenadora do Laboratório de Análise de Sementes, por conceder a estrutura física do mesmo e ter dado o suporte necessário.

Ao Professor Laésio Pereira Martins e ao técnico Oziel Nunes da Cruz do Laboratório de Pós Colheita do Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias (CCHSA), pela disponibilidade e presteza na execução das análises químicas.

Aos senhores Severino Francisco dos Santos (Seu Bui) e Rui Barbosa da Silva pela prontidão em me auxiliar sempre que necessário nas atividades em laboratório.

Ao Professor Walter Esfrain, pela incansável prontidão em atender e tirar as dúvidas pertinentes à área da estatística.

Às Professoras Elizanilda Ramalho do Rego, Luciana Cordeiro, Silvanda Silva, pelos diversos momentos de acolhida que extrapolaram os limites profissionais.

A João Trabuco, Rafael Mendes, Cleber Dourado, Crystiane Xavier, Carlos Magno, Catarina de Angola, Cleomara Jerônimo, Juliana Peixoto, Odair França, Wenya Figueiredo, Antônio Nunes, pelo engajamento e auxílio garantindo estrutura física para coleta dos dados e escrita da tese.

A Ana Carolina Bezerra, Bruna Regina, Cynthia Nascimento e Lanna Cecília pelo apoio incondicional, as escutas e todos os momentos partilhados em terras paraibanas, e por terem se tornado grandes irmãs, que seguirão comigo sempre.

À dona Maria Zélia Bezerra e sua família, que passaram a ser uma extensão da minha Bahia, tendo casa, colo e abraço com cafés e prosas de análises quase que intermináveis sobre a vida e as pessoas.

A Edilson Targino, pela acolhida necessária durante a pandemia, e o incentivo à necessidade de buscar mais.

A Dayanne Dias, pela admiração, companheirismo e, sobretudo, dedicação na reta final dividindo os trabalhos de revisão e estruturação do texto.

A Josicleia Oliveira, Klyvia Tenório, Ítalo Oliveira, Layane Silva, Leane Rodrigues e Naiade Britto, pelo colo sempre disponível para choros, risos e planos.

Aos amigos que se achegaram por causa da turma de estudo e foram tomando lugar na vida pessoal, Achilles Neves, José Eldo, Lucas Sombra, Raissa Di, Larissa Cavalcanti, Arliston Pereira.

Aos meus tios, tias, primos e primas, pela festa certa nas datas de retorno, pela torcida contínua pelo meu sucesso e pelo entendimento da minha ausência nas horas de partida.

A todos os amigos que fiz em terras paraibanas, seja nos espaços acadêmicos ou mesmo no grupo de leitura Leia Mulheres, Grupo de capoeira, grupo de teatro, grupo de dança

Arena Dance, da academia, da luta contra o fechamento das Escolas da zona rural e tantos outros espaços que me envolvi durante minha estadia em Areia. Sempre foram, também, espaços de partilha e aprendizados. Parti levando muito e também deixando um tanto.

Finalmente, a todos e todas que ajudaram no desenvolvimento desse trabalho e/ou que estavam na torcida para a finalização dessa etapa e não estão citados/as acima.

Meu muito obrigado!

RESUMO

A *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau, espécie vegetal pertencente à família botânica Bignoniaceae, possui elevada capacidade de adaptação, sendo apropriada para recuperação de áreas degradadas e utilização na indústria farmacológica. Estudos que relacionem sua fisiologia e seu ciclo reprodutivo às condições ambientais contribuirão para garantir a conservação da espécie. Dessa forma, objetivou-se estudar a ecofisiologia de *T. caraiba*, com avaliação da fenologia e produção de sementes, envolvendo a caracterização das mudanças físicas, fisiológicas e bioquímicas durante a maturação e o armazenamento. A variabilidade existente entre diferentes matrizes de *T. caraiba* também foi avaliada. Em campo, os estudos ocorreram nas cidades de São João do Cariri e Sumé, estado da Paraíba, Brasil, com 30 matrizes cada. Na avaliação ecofisiológica, cada matriz foi avaliada quinzenalmente quanto a presença e intensidade das fenofases brotação, floração, frutificação e senescência foliar, relacionando estas aos pulsos de precipitação. Assim, verificou-se que a *T. caraiba* possui ciclo reprodutivo anual, concentrando brotação, floração e frutificação na estação seca. A senescência foliar, de menor sanozalidade, ocorreu em diversos meses e teve maior correlação negativa com a precipitação pluvial. No tocante à formação e maturação das sementes, frutos foram colhidos dos 14 aos 49 dias após a antese e classificados quanto a cor. Em condições de laboratório, foram determinados teor de água, germinação, vigor, composição química e atividade enzimática das sementes. Verificou-se que a maturidade fisiológica das sementes ocorreu aos 42 dias após a antese, com fruto de coloração verde-acinzentada e início de abertura da fenda. O aumento na concentração de proteínas, lipídios, amido e açúcares redutores ocorreu até a fase final da maturação. A redução na atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase pode ser um marcador para a determinação da maturidade das sementes. A partir desse resultado, colheitas de frutos aos 35, 42 e 49 dias após a antese foram realizadas. As sementes foram embaladas em sacos de papel *Kraft* e armazenadas em geladeira durante 360 dias. Foram determinados o teor de água, germinação, vigor e atividade enzimática das sementes a cada 90 dias. As sementes permaneceram com elevada viabilidade durante o armazenamento, mantendo as sementes oriundas de frutos colhidos aos 42 dias após a antese com elevado vigor. A atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase não está vinculada ao processo de deterioração das sementes no armazenamento. Para estudar a variabilidade genética entre e dentro das populações, sementes de 20 matrizes foram coletadas e analisadas quanto às características físicas e fisiológicas. As estimativas de herdabilidade, variância genética, e a relação entre coeficientes de variação genética e ambiental, foram calculadas. Também foram realizadas a análise de componentes principais e a quantificação da divergência genética usando a distância de Mahalanobis. Há variabilidade entre as matrizes quanto às características físicas e fisiológicas de sementes. As matrizes SJC P03, SJC P04, SJC P11, SJC P16, SJC P17, SJC P20, Sumé P01, Sume P04, Sume P08, Sume P11 e Sume P18 são indicadas como genótipos superiores. A população de São João do Cariri possui maior número de matrizes de geradoras de sementes vigorosas.

Palavras-Chave: caatinga; colheita antecipada; pulsos de precipitação; descritores morfo-fisiológicos; enzimas antioxidantes; índice de Fournier; maturação e deterioração de sementes; sazonalidade; semiárido.

ABSTRACT

Tabebuia caraiba (Mart.) Bureau, a plant species belonging to the Bignoniaceae botanical family, has a high adaptability capacity, making it suitable for the recovery of degraded areas and for use in the pharmaceutical industry. Studies that relate its physiology and reproductive cycle to environmental conditions will contribute to ensuring the conservation of the species. Thus, the objective of this study was to study the ecophysiology of *T. caraiba*, evaluating its phenology and seed production, involving the characterization of physical, physiological and biochemical changes during maturation and storage. The variability between different *T. caraiba* matrices was also evaluated. In the field, the studies were carried out in the cities of São João do Cariri and Sumé, state of Paraíba, Brazil, with 30 matrices each. In the ecophysiological evaluation, each matrix was evaluated biweekly for the presence and intensity of the phenophases of budding, flowering, fruiting and leaf senescence, relating these to the precipitation pulses. Thus, it was found that *T. caraiba* has an annual reproductive cycle, with budding, flowering and fruiting concentrated in the dry season. Leaf senescence, which is less severe, occurred in several months and had a greater negative correlation with rainfall. Regarding seed formation and maturation, fruits were harvested from 14 to 49 days after anthesis and classified according to color. Under laboratory conditions, moisture content, germination, vigor, chemical composition and enzymatic activity of the seeds were determined. It was found that physiological maturity of the seeds occurred 42 days after anthesis, with fruits of a grayish-green color and the beginning of the opening of the slit. The increase in the concentration of proteins, lipids, starch and reducing sugars occurred until the final stage of maturation. The reduction in the activity of the enzymes superoxide dismutase and catalase can be a marker for determining seed maturity. Based on these results, fruit harvests were performed at 35, 42 and 49 days after anthesis. The seeds were packed in Kraft paper bags and stored in the refrigerator for 360 days. The water content, germination, vigor and enzymatic activity of the seeds were determined every 90 days. The seeds remained highly viable during storage, while seeds from fruits harvested 42 days after anthesis maintained high vigor. The activity of the enzymes superoxide dismutase and catalase is not linked to the seed deterioration process during storage. To study the genetic variability between and within the populations, seeds from 20 matrices were collected and analyzed for physical and physiological characteristics. Estimates of heritability, genetic variance and the relationship between genetic and environmental coefficients of variation were calculated. Principal component analysis and quantification of genetic divergence using the Mahalanobis distance were also performed. There is variability among the hues regarding the physical and physiological characteristics of seeds. The matrices SJC P03, SJC P04, SJC P11, SJC P16, SJC P17, SJC P20, Sumé P01, Sume P04, Sume P08, Sume P11 and Sume P18 are indicated as superior genotypes. The population of São João do Cariri has a greater number of matrices that generate vigorous seeds.

Keywords: antioxidant enzymes; caatinga; early harvest; Fournier index; morpho-physiological descriptors; precipitation pulses; seasonality; seed maturation and deterioration; semi-arid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO I: FENOLOGIA DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau RELACIONADA A PULSOS E INTERPULSOS DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO

- Figura 1.** Localização de matrizes de *Tabebuia caraiba* avaliadas em relação à fenologia, nas cidades de São João do Cariri (A) e Sumé (B)..... 31
- Figura 2.** Incidência de fenofases vegetativas e reprodutivas em *Tabebuia caraiba* em condições de Caatinga, no Cariri paraibano. Repouso vegetativo (folhas completamente expandidas (A e H), início da senescência foliar (B), senescência foliar acentuada e início dos botões florais (C), floração plena (D), frutificação e brotação (E, F e G)..... 33
- Figura 3.** Distribuição da fenofase brotação de *Tabebuia caraiba* nas cidades de São João do Cariri e Sumé anos de 2018 e 2019.35
- Figura 4.** Distribuição da fenofase senescência foliar de *Tabebuia caraiba* nas cidades de São João do Cariri e Sumé anos de 2018 e 2019..... 36
- Figura 5.** Distribuição da fenofase floração de *Tabebuia caraiba* nas cidades de São João do Cariri e Sumé anos de 2018 e 2019.37
- Figura 6.** Distribuição da fenofase frutificação de *Tabebuia caraiba* nas cidades de São João do Cariri e Sumé anos de 2018 e 2019.37
- Figura 7.** Precipitação pluvial e intensidade de Fournier apresentada por *Tabebuia caraiba* para as fenofases de brotação e senescência foliar avaliadas no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019, nas cidades de São João do Cariri (A) e Sumé (B)42
- Figura 8.** Precipitação pluvial e intensidade de Fournier apresentada por *Tabebuia caraiba* para as fenofases floração e frutificação avaliadas no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019, nas cidades de São João do Cariri (A) e Sumé (B).44

ARTIGO II: MARCADOR OBJETIVO PARA DETERMINAR A MATURIDADE FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau

- Figura 1** – Valores médios para teor de água, massa seca e massa fresca das sementes, e coloração do epicarpo de frutos de *Tabebuia caraiba*, colhidos dos 14 a 49 dias após a antese (DAA) no Cariri paraibano61
- Figura 2** – Valores médios para germinação, primeira contagem de germinação, e índice de velocidade de germinação das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas dos 14 a 49 dias após a antese (DAA) no Cariri paraibano64
- Figura 3** – Valores médios para emergência e índice de velocidade de emergência das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas dos 14 a 49 dias após a antese (DAA) no Cariri paraibano..... 65
- Figura 4** - Comprimento de parte aérea (A), Comprimento de raiz (B), Massa de matéria seca da parte aérea (C) e Massa de matéria seca da raiz (D) de plântulas advindas das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas dos 14 a 49 dias após a antese (DAA) no Cariri paraibano66
- Figura 5** – Composição química das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas no período de 14 a 49 dias após a antese (DAA), nas condições do Cariri paraibano (São João do Cariri (SJ) e Sumé (SU)); A: proteínas totais, B: lipídios, C: açúcares redutores, e D: amido.68
- Figura 6** - Atividade enzimática da Superóxido dismutase (A), Catalase (B) e Peroxidase (C) das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas dos 14 a 49 dias após a antese (DAA), no Cariri paraibano (São João do Cariri (SJ) e Sumé (SU)).71

ARTIGO III: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM SEMENTES IMATURAS DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau DURANTE O ARMAZENAMENTO

Figura 1 - Coloração de frutos de *Tabebuia caraiba* em diferentes estádios de maturação..... 84

Figura 2 - Teor de água de sementes de *Tabebuia caraiba* colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A) e Sumé (B), e armazenadas por até 360 dias em geladeira.88

Figura 3 - Germinação e índice de velocidade de germinação de sementes de *Tabebuia caraiba* colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A e C) e Sumé (B e D), e armazenadas por até 360 dias em geladeira90

Figura 4 - Emergência e índice de velocidade de emergência de sementes de *Tabebuia caraiba* colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A e C) e Sumé (B e D), e armazenadas por até 360 dias em geladeira93

Figura 5 - Comprimento da parte aérea e raiz de plântulas de *Tabebuia caraiba* provenientes de sementes colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A e C) e Sumé (B e D), e armazenadas por até 360 dias em geladeira..... 94

Figura 6 - Atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase em sementes de *Tabebuia caraiba* colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A, C e E) e Sumé (B, D e F), e armazenadas por até 360 dias em geladeira..... 97

ARTIGO IV: VARIABILIDADE INTRAESPECÍFICA DA MORFOLOGIA E FISIOLOGIA DAS SEMENTES DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau

Figura 1 - Características físicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 20 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil. A= comprimento (COMP); B= largura (LARG); C= espessura (ESP); D= peso de mil sementes (PMS); E= luminosidade (LUMI); F= tonalidade (TON); G= intensidade (INT); e H= teor de água (TA). Valor de P obtido pelo teste F da análise de variância.115

Figura 2 - Características fisiológicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 20 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil. A= germinação (G); B= primeira contagem de germinação (PCG.); C= índice de velocidade de germinação (IVG); D= emergência (EE= índice de velocidade de emergência (IVE)); F= comprimento da parte aérea (CPA); G= comprimento da raiz (CR); H= massa seca da parte aérea (MSPA); I= massa seca da raiz (MSR). Valor de P obtido pelo teste F da análise de variância..... 116

Figura 3 - Variação total acumulada para contribuição dos componentes principais nas características físicas e fisiológicas (A), contribuição relativa para os componentes principais PC1 e PC2 das características físicas e fisiológicas (B, C e D), dispersão dos tratamentos (E) nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) e dendrograma obtido pelo método de agrupamento UPGMA utilizando a distância de Mahalanobis (F) para atributos biométricos, físicos e fisiológicos de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil. As setas representam a direção da característica e as cores do gradiente representam a contribuição de cada característica para os componentes. Do azul ao vermelho: contribuições baixas a altas..... 123

Figura 4 - Correlação para características biométricas, físicas e fisiológicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil.125

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I: FENOLOGIA DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau RELACIONADA A PULSOS E INTERPULSOS DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO

Tabela 1 - Estatística circular de fenofases para ocorrência de sazonalidade em *Tabebuia caraiba* nos anos de 2018 e 2019, nas cidades de São João do Cariri e Sumé, Paraíba. *r* - medida de concentração dos dados ao redor do ângulo médio; *p* – nível de significância do ângulo médio (0,001)34

Tabela 2 – Valores da análise de correlação de Spearman entre a ocorrência das fenofases e a precipitação pluvial de 0, quinzena de ocorrência do evento; 1, 2 e 3 quinzenas anteriores ao evento fenológico de *Tabebuia caraiba*.38

ARTIGO II: MARCADOR OBJETIVO PARA DETERMINAR A MATURIDADE FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau

Tabela 1 – Análise de variância para as variáveis de desenvolvimento de sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas no período de 14 a 49 dias após a antese (DAA), nas condições do Cariri paraibano..... 60

ARTIGO III: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM SEMENTES IMATURAS DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau DURANTE O ARMAZENAMENTO

Tabela 1 - Análise de variância para variáveis de qualidade fisiológica de sementes de *Tabebuia caraiba* em diferentes estádios de maturação e armazenadas por 360 dias..... 87

ARTIGO IV: VARIABILIDADE INTRAESPECÍFICA DA MORFOLOGIA E FISIOLOGIA DAS SEMENTES DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau

Tabela 1 - Genótipos de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau utilizados para análise da variabilidade genética: número, identificação das matrizes, coordenadas e procedência (local da coleta).... 110

Tabela 2 - Resumo da análise de variância: quadrados médios (QM), herdabilidade ($h^2\%$) e relação coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe) para características de sementes de *Tabebuia caraiba* coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil..... 113

Tabela 3 - Médias de características físicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil118

Tabela 4 - Médias de características fisiológicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri (SJC) e Sumé, Paraíba, Brasil.121

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	15
	REFERÊNCIAS	20
2	ARTIGO I: FENOLOGIA DE <i>Tabebuia caraiba</i> (Mart.) Bureau RELACIONADA A PULSOS E INTERPULSOS DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO.....	25
	RESUMO.....	26
	ABSTRACT.....	27
2.1	Introdução.....	28
2.2	Material e métodos.....	30
2.3	Resultados e discussão.....	33
2.4	Conclusões.....	45
	REFERÊNCIAS.....	47
3	ARTIGO II: MARCADOR OBJETIVO PARA DETERMINAR A MATURIDADE FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE <i>Tabebuia caraiba</i> (Mart.) Bureau.....	52
	RESUMO.....	53
	ABSTRACT.....	54
3.1	Introdução.....	55
3.2	Material e métodos.....	56
3.3	Resultados e discussão.....	59
3.4	Conclusões.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74
4	ARTIGO III: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM SEMENTES IMATURAS DE <i>Tabebuia caraiba</i> (Mart.) Bureau DURANTE O ARMAZENAMENTO.....	79
	RESUMO.....	80
	ABSTRACT.....	81
4.1	Introdução.....	82
4.2	Material e métodos.....	83

4.3	Resultados e discussão.....	86
4.4	Conclusões.....	99
	REFERÊNCIAS.....	100
5	ARTIGO IV: VARIABILIDADE INTRAESPECÍFICA DA MORFOLOGIA E FISIOLOGIA DAS SEMENTES DE <i>Tabebuia caraiba</i> (Mart.) Bureau.....	105
	RESUMO.....	106
	ABSTRACT.....	107
5.1	Introdução.....	108
5.2	Material e métodos.....	109
5.3	Resultados e discussão.....	113
5.4	Conclusões.....	126
	REFERÊNCIAS.....	127

1 INTRODUÇÃO GERAL

A *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau é uma espécie pertencente à família botânica Bignonaceae, com ocorrência em diversos ecossistemas da Caatinga, Cerrado e Pantanal, podendo atingir entre 5 - 20 m de altura e 60 - 100 cm de diâmetro (PINTO et al., 2017). Também conhecida como craibeira, essa espécie possui floração intensa, característica da família dos ipês, com flores polinizadas principalmente por abelhas e beija-flores, gerando frutos com grande quantidade de sementes que não possuem dormência, e tem grande potencial de dispersão devido a suas asas laterais sobrepostas (OLIVEIRA, 2010; ACRA et al., 2012; SILVA et al, 2019).

Devido seu porte e a elevada plasticidade fisiológica, atualmente seu principal uso se concentra na recuperação de áreas degradadas e paisagismo (REBELATTO et al., 2013; PINTO et al., 2017). No entanto, estudos recentes têm destacado que substâncias bioativas presentes em espécies do gênero *Tabebuia* são promissoras para utilização como medicamentos, devido suas propriedades antinociceptivas, antiinflamatórias, antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, diuréticas, anticoagulantes e potencializadoras da ação de antibióticos (FERNANDEZ e COCK, 2020; UCHÔA et al., 2021; ALVES et al., 2021)). Além disso fornecem compostos como naftoquinonas, lignanas, iridoídes e fenilpropanóides, sendo reportados com propriedades antinociceptivas e antiedematogênicas, capazes de auxiliar no tratamento de células cancerosas, e substâncias fenólicas, como o lapachol, com atividade efetiva no combate à larvas do mosquito *Aedes aegypti* L. (BRITO et al., 2020; TAHARA et al., 2020).

Na caatinga, bioma que recobre todo o nordeste do Brasil e onde o presente estudo foi desenvolvido, há elevada diversidade de espécies, dentre estas, 4.322 espécies de plantas com sementes, sendo 744 endêmicas (FORZZA et al., 2012; IBGE, 2019). Essa diversidade enfrenta um elevado grau de extrativismo devido a sua relevância econômica tendo como principais usos a madeira, produção de mel, forragem, energia, ornamentação e produtos fitoterápicos, (OLIVEIRA et al., 2014; SOUZA e PACHECO, 2019; MARQUES et al., 2020; ARAUJO e CAVALCANTE, 2024).

Diante dessas potencialidades e desafios, é importante compreender de maneira aprofundada os aspectos relacionados ao ciclo reprodutivo da espécie, os fatores que influenciam seu desenvolvimento, aprimorar as técnicas de produção e armazenamento das sementes, bem como a variabilidade de caracteres fisiológicos existentes, contribuindo com a conservação e uso da espécie de forma sustentável, e ainda ampliar o espectro de estudos e pesquisas sobre as espécies florestais brasileiras.

Nesse contexto, o estudo fenológico de *T. caraiba* visando obter informações acerca dos eventos vegetativos e reprodutivos, como formação de novas brotações, senescência, floração, frutificação correlacionando-os à precipitação pluvial, é o ponto de partida para a concepção de planos de manejo e conservação, já que as fenofases de um organismo podem mudar drasticamente como uma resposta direta às condições ambientais, tendo efeitos maiores na comunidade vegetal de cada bioma, sobretudo para as espécies vegetais que compõem ecossistemas nos trópicos (KALLARACKAL e RENUKA, 2014; BRAGA et al., 2019; NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2023).

Frequentemente as fenofases das plantas estão relacionadas em maior ou menor intensidade a variáveis climáticas como precipitação pluvial, temperatura e umidade do ar de cada região (MORELATTO, 2007). Nas condições da Caatinga, devido às condições climáticas ambientais existentes, o desenvolvimento das espécies vegetais está relacionado à disponibilidade de água no solo e distribuição da precipitação pluvial, sobretudo devido a alta variabilidade da precipitação que ocorre na forma de pulsos de curto prazo (NOY-MEIR, 1973; LIMA et al., 2018). Os dados obtidos são importantes para ordenação cronológica do desenvolvimento de uma população interligada às condições a que estão submetidas (ANDRADE et al., 2020). Estas descrições são determinantes e imprescindíveis para entender a dinâmica de populações em um determinado local, auxiliando também na potencialização dos diversos usos para a espécie.

Tanto na produção de mudas para uso na recuperação de áreas degradadas, quanto para projetos que integrem espécies florestais, a principal forma de propagação das espécies florestais se dá via sementes (SCHMIDT, 2016). Desse modo, o estudo relacionado às sementes de *T. caraiba* desde seu desenvolvimento na planta mãe até as estratégias de armazenamento para minimizar os efeitos de deterioração e aumentar a longevidade também devem ser considerados nas pesquisas com foco na conservação e utilização da espécie.

Devido a deiscência dos frutos de *T. caraiba* e a presença de alas nas sementes, ao final da maturação e abertura do fruto, as sementes são dispersas pelo vento, expondo-as às condições climáticas que podem ser prejudiciais, tendo em vista a redução da germinação e vigor das mesmas em campo (SANTOS et al., 2019). Dessa forma, a definição de marcadores objetivos que identifiquem o ponto de maturidade fisiológica, pode auxiliar na determinação do ponto ideal de colheita, garantindo a obtenção de sementes antes da dispersão e com qualidade elevada.

Ademais, identificar alterações morfológicas, físicas, fisiológicas e bioquímicas que ocorrem durante a maturação das sementes, iniciadas a partir da fecundação e formação do embrião, e continuam até o desligamento da semente com a planta mãe, é determinante para

contribuir no manejo eficiente quando da obtenção de sementes em campo (MARCOS-FILHO, 2015).

Mudanças em variáveis como coloração de fruto, massa seca, teor de água e germinação são usadas utilizadas com frequência para avaliação do vigor das sementes durante a maturação (SILVA et al., 2018; DINIZ e NOVEMBRE, 2019). Recentemente diversas análises bioquímicas, com avaliação de enzimas do complexo oxidativo como a superóxido dismutase, catalase e peroxidase, também têm contribuído para elucidar o processo de maturação em nível molecular (NAKADA et al., 2011; SILVA et al., 2017).

Outro fator importante no estudo de espécies florestais é a identificação do período em que a semente permanece viável e com elevado vigor, principalmente em espécies cujo período de viabilidade das sementes em condições naturais é curto (GUEDES et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2018). Em espécies de *Tabebuia* a curta longevidade natural das sementes pode estar relacionada à pouca quantidade de reservas nutritivas armazenadas em seus tecidos, assim como ao alto teor de óleo presente em sua composição química (ABBADÉ e TAKAKI, 2012). Nesse sentido, técnicas para o armazenamento que contribuam para a ampliação do período de viabilidade da semente é fundamental na manutenção da sua qualidade (OLIVEIRA et al., 2018).

As condições de armazenamento, que envolvem temperatura e umidade, assim como o uso de embalagens adequadas, são fatores preponderantes para a eficiência do armazenamento, reduzindo a velocidade da deterioração da semente, fato que têm sido cerne de diversas pesquisas realizadas (AFZAL et al., 2019; FREITAS et al., 2024). A diminuição na germinação é, comumente, o primeiro sinal de deterioração das sementes após o armazenamento, caracterizando a perda de vigor e viabilidade das mesmas (AFZAL et al., 2017). No entanto a avaliação dos danos celulares e moleculares, gerados por reações hidrolíticas, oxidativas e peroxidativas, também devem fazer parte da avaliação das sementes durante o armazenamento (YIN et al., 2014; ZANATA et al., 2018).

Dessa forma, estudos mais concisos relacionados aos processos que regem a perpetuação da espécie de maneira geral, que complementem as informações já sistematizadas, são fundamentais para maior aprofundamento do conhecimento na formação, maturação e armazenamento das sementes (GONÇALVES et al., 2013; BORGES et al., 2020).

Além da fenologia da espécie e da compreensão sobre a produção de sementes, o estudo da variabilidade relacionada aos caracteres das sementes é outro aspecto essencial na tomada

de decisões e planejamento do uso da *T. caraiba*. É importante ressaltar que tanto para os programas de recuperação de áreas degradadas, quanto de reflorestamento, devem ser selecionadas sementes que representem a variabilidade da população, evitando assim a endogamia e preservando o potencial evolutivo de longo prazo da espécie (SEBBENN, 2002; OLIVEIRA SILVA et al., 2022).

A variabilidade se acumula como resultado de processos ambientais e evolutivos ao longo de um determinado período de tempo (gerações únicas ou sucessivas) agindo em diferentes populações distribuídas em ambientes heterogêneos, por exemplo em um determinado contexto espaço-temporal, e pode ser estimada por intermédio de marcadores, como os descritores morfoagronômicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares relativos às plantas (KREMER et al., 2014). No entanto, trabalhos recentes têm concentrado esforços no sentido de caracterizar a divergência genética de árvores matrizes com base na qualidade fisiológica das sementes (MARANHO et al., 2014; MENEGATTI et al., 2017; FELIX et al., 2020; CASTRO et al., 2021; OLIVEIRA SILVA et al., 2022).

O vigor de sementes, avaliado pela intensidade e velocidade do processo de germinação, caracteriza o potencial fisiológico e é utilizado para diferenciar lotes de sementes de diferentes procedências e/ou matrizes, evidenciando a divergência genética existente (OLIVEIRA et al., 2017). De forma semelhante, características como porcentagem de plântulas normais, porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação podem contribuir para a divergência genética em população de plantas de espécies nativas (MENEGATTI et al., 2017).

Desta forma, essas variáveis, juntamente com a biometria de sementes podem ser consideradas ferramenta para detectar divergências inter e intrapopulacionais resultantes de variações ambientais ou genéticas, e fornecer informações que podem ser base para o melhoramento genético e conservação da *T. caraiba*.

Diante de tais considerações os objetivos nesse estudo foram:

- I. Estudar a fenologia de *Tabebuia caraiba* nas condições do Cariri paraibano e a sua relação com a precipitação pluvial.
- II. Determinar um marcador objetivo capaz de indicar a maturidade fisiológica e caracterizar as mudanças físicas, fisiológicas e bioquímicas durante a maturação de sementes de *T. caraiba*.

- III. Avaliar o comportamento de sementes imaturas de *T. caraiba* armazenadas, bem como definir o melhor estágio de maturação para o armazenamento.
- IV. Avaliar a divergência genética entre matrizes de *T. caraiba* a partir de avaliações morfométricas e fisiológicas de sementes.

A presente tese é composta por esta introdução geral, e quatro artigos, sendo eles:

- I. Fenologia de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau relacionada a pulsos e interpulsos de água no Semiárido.
- II. Marcador objetivo para determinar a maturidade fisiológica de sementes de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau.
- III. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes imaturas de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau durante o armazenamento.
- IV. Variabilidade intraespecífica da morfologia e fisiologia das sementes de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau.

REFERÊNCIAS

- ABBADE, L.C.; TAKAKI, M. Mobilisation of reserves during germination of seeds of *Tabebuia roseoalba* (Bignoniaceae). **Seed Science and Technology**, v. 40, p. 259-264, 2012.
- ACRA, L.A.; CARVALHO, S.M.; CERVI, A.C. Biologia da polinização e da reprodução de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC) Mattos (Bignoniaceae Juss.). **Estudos de Biologia**, v. 34, n. 82, 2012.
- AFZAL, I.; JAFFAR, I.; ZAHID, S.; REHMAN, H.U.; BASRA, S.M.A. Physiological and biochemical changes during hermetic storage of *Moringa oleifera* seeds. **South African Journal of Botany**, v. 129, p. 435-441, 2019.
- AFZAL, M.A.; BAKHTAVAR, M.; ASHFAQ; M. SAGHEER; BARIBUTSA, D. Maintaining dryness during storage contributes to higher quality of maize seeds. **Journal of Stored Products Research**, v. 72, p.49-53, 2017.
- ALVES, L.A.; LINHARES, L.G.; CÂMARA, L.M.A.; LINHARES, M.G.; DE OLIVEIRA, J.C.G.; LIMA, D.F. Características fitoquímicas e capacidade antioxidante de *Tabebuia caribiba* (Carabeira). **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 2270-2284, 2021.
- ANDRADE, A.P.; DA SILVA, D.S.; BRUNO, R.D.L.A.; DA SILVA, D.L.S.; JUNIOR, J.L.D.A.M.; MAGALHÃES, A.L.R.; DE MEDEIROS, A.N. Temporal rainfall variability as inductor of the phenology of Brazilian semiarid species. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 2, p. 299-307, 2020.
- ARAÚJO, A.M.; CAVALCANTE, L.V. Extração de Lenha e Produção de Carvão em Várzea (PB): Reflexões aceca do Uso Insustentável da Caatinga. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 6, n. 02, p. 549-574, 2024.
- BORGES, I.F.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L.; BARBEDO, C.J. Regulação hídrica entre frutos e sementes de pau-brasil durante sua maturação. *Hoehnea*, v 47, E1142019, 2020.
- BRAGA, A.M.S.; LIMA, G.A.; TEODORO M.S.; LEMOS, J.R. Fenologia de três espécies arbóreas em um trecho de vegetação subcaducifólia no norte do Piauí, Brasil. **Biotemas**. v. 32, n. 2, p. 33-44, 2019.
- BRITO, M.C.A.; PEREIRA, L.P.L.A.; GUIMARÃES, S.J.A.; CASTRO JÚNIOR, J. R.; CHAGAS, V.T. Bioprospection of *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. Hook. f. ex S. Moore: Chemical, Biological and Toxicity Studies. **Preprints 2020**.
- CASTRO, R.S.; GONÇALVES, A.R.; DOS SANTOS BRAGA-FERREIRA, R.; DE CAMPOS TELLES, M.P.; CHAVES, L.J. Variabilidade fenotípica de frutos e sementes em populações naturais de *Hymenaea stigonocarpa* (Mart. Ex Hayne). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, p. e67292-e67292, 2021.
- DINIZ, F.O.; NOVENBRE, A.D.D.L.C. Maturação das sementes de *Physalis peruviana* L. em função do florescimento e da idade dos frutos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 3, p. 447 - 457, 2019.

FELIX, F.C.; DE MEDEIROS, J.A.D.; FERRARI, C.D.S.; VIEIRA, F.D.A.; PACHECO, M.V. Biometry of *Pityrocarpa moniliformis* seeds using digital imaging: implications for studies of genetic divergence. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, 2020.

FERNANDEZ, A.; COCK, I. E. *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC. Mattos) bark extracts inhibit the growth gastrointestinal bacterial pathogens and potentiate the activity of some conventional antibiotics. **Pharmacognosy Communications**, v. 10, n. 2, p. 75- 82, 2020.

FORZZA, R.C.; BAUMGRATZ, J.F.A; BICUDO, C.E.M; CANHOS, D.A.L.; CARVALHO JR., A.A.; COELHO, M.A.N.; COSTA, A.F.; COSTA, D.P.; HOPKINS, M.G.; LEITMAN, P.M.; LOHMANN, L.G.; LUGHADHA, E.N.; MAIA, L.C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M.P.; 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.C. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **Bio Science**, v.62, n. 1, 2012.

FREITAS, T. A. S.; SANTOS CALHAU, M.; SAMPAIO, J. R.; GAMA, D. C. Sementes de espécies florestais nativas: aspectos do armazenamento. **Intellecto**, v. 9, p. 1-22, 2024.

GONÇALVES, L.S.A.; RODRIGUES, R.; AMARAL JUNIOR, A.T.; KARASAWA, M.; SUDRÉ, C.P. Heirloom tomato gene bank: assessing genetic divergence based on morphological, agronomic and molecular data using a Ward-modified location model. **Genetics and Molecular Research**, v. 8, p. 364-374, 2009.

GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; MELO, P.A.F.R.; MOURA, S.S.S.; SILVA, R.S. Storage of *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau seeds in different packaging and temperatures. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 433-440, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e sistema costeiro- marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250 000. Rio de Janeiro: IBGE, 168p. 2019.

KALLARACKAL J.; RENUKA R. Phenological implications for the conservation of forest trees. In: Kapoor R, Kaur I, Koul M (eds) Plant reproductive biology and conservation. **I.K International Publishing House**, New Delhi, pp 90–109, 2014.

KREMER, A.; POTTS, B.M; DELZON, S. Climate change and species range shifts, Genetic divergence in forest trees: understanding the consequences of climate change. **Functional Ecology**, v.28, n.1, p. 22–36, 2014.

LIMA, A.T.; MEIADO, M.V. Effect of hydration and dehydration cycles on *Mimosa tenuiflora* seeds during germination and initial development. **South African Journal of Botany**, v. 116, p. 164-167, 2018.

MARANHO, A.S.; SOARES, I.D.; GUIMARÃES, A.V.P.J. Biometria de frutos- sementes e emergência de plântulas de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham. em diferentes substratos e profundidades de sementeira. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 1, p. 56-62, 2014.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRA- TES, 660p, 2015.

MARQUES, F.J.; CABRAL, A.G.A.; DE LIMA, C.R.; DE FRANÇA, P.R.C. Florística e estrutura do componente arbustivo-arbóreo da caatinga nas margens do rio Sucuru em coxixola, Paraíba: reflexos da antropização. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n.4, p.20058-20072, 2020.

MENEGATTI, R.D.; MANTOVANI, A.; NAVROSKI, M.C.; SOUZA, A.G. Genetic divergence among provenances of *Mimosa scabrella* Benth. based on seed analysis. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 366-371, 2017.

MORELLATO, L. P. C. A pesquisa em fenologia na América do Sul, com ênfase no Brasil, e suas perspectivas atuais. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. B.; MORELLATO, L. P. C. (Org.). Fenologia como ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais. **EMBRAPA**, v. 1, p. 37-48. 2007.

NAKADA, P.G.; OLIVEIRA, J.A.; MELO, L.C.D.; GOMES, L.A.A.; VON PINHO, E. V.D.R. Desempenho fisiológico e bioquímico de sementes de pepino nos diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 113-122, 2011.

NASCIMENTO JÚNIOR, J.M.; GAMA, D.C.; LIMA, L.C.; SILVA OLIVEIRA, V.; CONCEIÇÃO, E.S. Fenologia e biologia floral de espécies de *Byrsonima* Rich. ex Kunth em área de caatinga na Bahia, Brasil. **Scientia Plena**, v. 19, n. 7, 2023.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Review of Ecology and Systematics**. v. 4, p.25-41, 1973.

OLIVEIRA, E.C.S.; COSTA JÚNIOR, E.O.; FERNANDES, P.D.; TRAJANO, E.V.A. Photochemical efficiency of photosystem II (PSII) and water potential of *Cnidocolus quercifolius* Pohl in áreas of caatinga paraibana. **Iheringia Série Botânica**, v. 69, p. 479- 487, 2014.

OLIVEIRA, E.J.; MORGANTE, C.V.; DE TARSO AIDAR, S.; DE MELO CHAVES, A.R.; ANTONIO, R.P.; CRUZ, J.L.; COELHO FILHO, M.A. Evaluation of cassava germplasm for drought tolerance under field conditions. **Euphytica**, v. 213, n. 8, p. 188, 2017.

OLIVEIRA, L.Z. **Variabilidade genética de caracteres morfológicos e germinação de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bur. (Bignoniaceae) no município de Macapá, AP**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Campus de Jaboticabal Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

OLIVEIRA, M.R.; BONOME, L.T.S.; BITTENCOURT, H.V.H.; ZAROWNI, E.; LEFCHAK, L.S. Alternative treatments in bean seeds for repelling *Acanthoscelides obtectus* (SAY). **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 4, 2018.

OLIVEIRA SILVA, D.Y.B.; DE FARIAS, S.G.G.; ARAÚJO, P.C.D.; DE SOUSA, M.B.; BEZERRA, R.; DE ALMADA OLIVEIRA, C.V. Variabilidade genética de populações de *Parkia platycephala*: Subsídio para definir áreas de coleta de sementes. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 4, p. 905-914, 2022.

PILON, N.A.L.; UDULUTSCH, R.G.; DURIGAN, G. Padrões fenológicos de 111 espécies de Cerrado em condições de cultivo. **Hoehnea**, v. 42, n.3, p.425-443, 2015.

PINTO, J.R.S.; DOMBROSKI, J.L.D.; FREITAS, R.M.O. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook., sob sombreamento no semiárido. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 465-472, 2017.

REBELATTO, D.; LEAL, T.S.; DE MORAES, C.P. Fenologia de duas espécies de ipê em área urbana do município de Araras, São Paulo, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2013.

SCHMIDT, L.H. Genetics and Forest Seed Production. in L Pancel & M Köhl, (eds), **Tropical Forestry Handbook**. 2 edn, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 921-957, 2016.

SEBBENN, A. M. Número de árvores matrizes e conceitos genéticos na coleta de sementes para reflorestamentos com espécies nativas. **Revista do Instituto Florestal**, v. 14, n. 2, p. 115-132, 2002.

SANTOS, B.R.V.D.; BENEDITO, C.P.; TORRES, S.B.; LEAL, C.C.P.; ALVES, T.R.C. Physiological maturity of *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 4, p. 498 - 505, 2019.

SILVA, L.J.D.; DIAS, D.C.F.D.S.; OLIVEIRA, G. L.; SILVA, JÚNIOR, R.A.D. The effect of fruit maturity on the physiological quality and conservation of *Jatropha curcas* seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 487 - 495, 2017.

SILVA, M.C.; MACIEL, D.; COELHO, M.C.B.; GIONGO, M.; PEREIRA, J.F.; SANTOS, A.F. Avaliação do crescimento inicial das mudas de *Tabebuia serratifolia* (Ipê Amarelo) sob diferentes regimes hídricos. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 2, p. 299-303, 2019.

SILVA, M.C.; SOUZA, R.E.V.M.; SILVA, B.R.L.; OLIVEIRA, V.G.; MELO, F.P.L. Heterogeneidade de substratos e diversidade de herbáceas na Caatinga sedimentar e cristalina. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**. v. 3, n.1, p.45-53, 2018.

SOUZA, D.D.; PACHECO, C.S.G.R. Espécies nativas para alimentação de ruminantes em Ouricuri-PE e seus impactos ambientais. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v. 15, n. 1, p. 71-78, 2019.

TAHARA, T.; WATANABE, A.; YUTANI, M.; YAMANO, Y.; SAGARA, M.; NAGAI, S.; SAITO, K.; YAMASHITA, M.; IHARA, M.; LIDA, A. STAT3 inhibitory activity of naphthoquinones isolated from *Tabebuia avellanedae*. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 28, ed. 6, n. 115347, 2020.

UCHÔA, V.T.; RAI, M.; CARVALHO, G.F.S.; SOUSA, H.G.; SILVA CARNEIRO, R.; NASCIMENTO, A.M.D.S.S.; SILVA SANTOS, F.P. Anti-Inflammatory Activity of Wild Medicinal Plants of Piauí State-Brazil. In: **Ethnopharmacology of Wild Plants**. CRC Press, 2021. p. 148-183.

YIN, G.; XIN, X.; SONG, C.; CHEN, X.; ZHANG, J.; WU, S.; ... LU, X. Activity levels and expression of antioxidant enzymes in the ascorbate – glutathione cycle in artificially aged rice seed. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 1-9, 2014.

ZANATTA, E.; SZARESKI, V.J.; CARVALHO, I.R.; PIMENTEL, J.R.; TROYJACK, C.; DELLAGOSTIN, S.M.; ... VILLELA, F.A. Pre-harvest Desiccation: Productivity and physical and physiological inferences on soybean seeds during storage. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 6, p. 354-362, 2018.

ARTIGO I

**FENOLOGIA DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau RELACIONADA A PULSOS
E INTERPULSOS DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO**

RESUMO

No Semiárido, devido a ocorrência de períodos de seca e umidade bem determinados, os eventos fenológicos são afetados pelas chuvas sazonais e pela disponibilidade de água no solo. Estudos que abordem o desenvolvimento de plantas nestas condições e os relacionem com a ocorrência de chuvas contribuem para elucidar o funcionamento e a estruturação de comunidades vegetais. Assim, objetivou-se com o presente trabalho estudar a fenologia de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau nas condições do Cariri paraibano e a sua relação com a precipitação pluvial. O estudo foi conduzido entre janeiro de 2018 a dezembro de 2019 nas cidades de São João do Cariri e Sumé, caracterizando a localização das populações de matrizes avaliadas, ambas no estado da Paraíba, Brasil. Em cada cidade foram selecionadas 30 matrizes de *T. caraiba*, e avaliadas quinzenalmente quanto a presença e ausência das fenofases brotação, floração, frutificação e senescência foliar, de acordo com o índice de atividade e sua intensidade em cada população de matrizes. A distribuição do índice de atividade das matrizes, em cada fase, entre os anos de observação foi analisada com o uso da estatística circular. Além disso, os dados fenológicos de intensidade de cada fenofase foram relacionados à distribuição dos pulsos de precipitação (chuva) nas áreas onde se localizavam as populações por meio do coeficiente de correlação de Spearman. A *T. caraiba* possui ciclo reprodutivo anual, concentrando brotação, floração e frutificação nos meses de novembro e de dezembro, na estação seca, para as condições do Cariri paraibano. Dentre as fenofases observadas em *T. caraiba*, a menor sazonalidade foi observada para a senescência foliar, com ocorrência em diversos meses independente do ano. A precipitação pluvial é correlacionada de forma significativa com as fenofases avaliadas, com maior correlação negativa para a senescência foliar.

Palavras-chave: florestas secas; índice de Fournier; sincronia; sazonalidade.

ABSTRACT

In the semiarid region, due to the occurrence of well-defined periods of drought and humidity, phenological events are affected by seasonal rainfall and the availability of water in the soil. Studies that address the development of plants in these conditions and relate them to the occurrence of rainfall contribute to elucidate the functioning and structuring of plant communities. Thus, the objective of this study was to study the phenology of *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau under the conditions of Cariri in Paraíba and its relationship with rainfall. The study was conducted between January 2018 and December 2019 in the cities of São João do Cariri and Sumé, characterizing the location of the evaluated matrix populations, both in the state of Paraíba, Brazil. In each city, 30 matrices of *T. caraiba* were selected and evaluated every two weeks for the presence and absence of phenophases budding, flowering, fruiting and leaf senescence, according to the activity index and its intensity in each population of matrices. The distribution of the activity index of the matrices, in each phase, between the years of observation was analyzed using circular statistics. In addition, the phenological data of intensity of each phenophase were related to the distribution of precipitation pulses (rain) in the areas where the populations were located through Spearman's correlation coefficient. *T. caraiba* has an annual reproductive cycle, concentrating sprouting, flowering and fruiting in the months of November and December, in the dry season, for the conditions of Cariri in Paraíba. Among the phenophases observed in *T. caraiba*, the least seasonality was observed for senescence, occurring in several months regardless of the year. Rainfall is significantly correlated with the evaluated phenophases, with a greater negative correlation for senescence.

Keywords: dry forests; fournier index; seasonality; synchrony.

2.1 Introdução

A Caatinga, bioma brasileiro que recobre todo o Nordeste do Brasil, corresponde a 10,1% do território nacional e possui elevada diversidade de espécies, dentre estas, 4.322 espécies de plantas com sementes, sendo 744 endêmicas (FORZZA et al., 2012; IBGE, 2019). Essa diversidade enfrenta um elevado grau de extrativismo devido a sua relevância econômica tendo como principais usos a madeira, produção de mel, forragem, energia, ornamentação e produtos fitoterápicos, (OLIVEIRA et al., 2014; SOUZA e PACHECO, 2019; MARQUES et al., 2020).

Caracterizada como arbustivo-arbórea, a vegetação da Caatinga possui folhas caducas no verão e, devido às condições climáticas ambientais onde essas espécies se encontram, o seu desenvolvimento está relacionado à distribuição da precipitação pluvial e disponibilidade de água no solo (LIMA et al., 2018; ANDRADE et al., 2020). Isto porque, em regiões áridas e semiáridas, diferente das variáveis temperatura, radiação solar e captação de nutrientes, a precipitação pluvial é altamente variável, ocorrendo em eventos descontínuos na forma de pulsos de curto prazo (NOY-MEIR, 1973).

O Semiárido brasileiro é caracterizado por uma distribuição irregular e altamente variável das chuvas no espaço e no tempo (MEDEIROS et al., 2019). Assim, é possível definir duas estações distintas, a estação chuvosa, correspondente a um período de 3 a 4 meses com chuvas irregulares e de variável intensidade; e estação seca, em geral com período crítico de seca prolongada, quando grande parte das espécies da Caatinga expressa a queda das folhas (LIMA et al., 2018).

No entanto, algumas espécies podem permanecer com folhas durante a estação seca, ou até mesmo ser caracterizada com baixos índices de brotação em resposta a chuvas ocasionais durante a estação seca, resultado da complexidade da fenologia das comunidades de plantas tropicais (MARTINI et al., 2011; STAGGEMEIER et al., 2020). Dessa forma, diversos trabalhos têm caracterizado o desenvolvimento de plantas nas condições climáticas do Semiárido, avaliando a relação da fenologia com a ocorrência das chuvas. Em condições do Semiárido paraibano, as espécies *Anadenanthera colubrina* Vell., *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. e *Amburana cearenses* All. foram classificadas como espécies decíduas, por apresentarem abscisão foliar durante a estação seca e rebrota na estação chuvosa, enquanto a espécie *Licania rigida* Benth foi classificada como uma espécie perene, por não demonstrar esse comportamento (JAPIASSU et al., 2016). Já a *Poinciana pyramidalis* Tul. também perde totalmente suas folhas à medida que os interpulsos

de precipitação pluvial se intensificam, com o avanço da estação seca, tendo a intensidade e duração correlacionadas à amplitude e frequência dos pulsos de precipitação (LIMA et al., 2018).

O conhecimento dos padrões fenológicos é uma importante ferramenta para elucidar o funcionamento e a estruturação de comunidades vegetais de muitas espécies (PILON et al., 2015). Além disso, conhecer a periodicidade de eventos vegetativos e reprodutivos das espécies vegetais pode fornecer subsídios para entender a dinâmica do processo evolutivo das espécies que compõem ecossistemas nos trópicos, sobretudo para aquelas com diversos potenciais de uso (BRAGA et al., 2019).

A *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau é uma espécie pertencente à família botânica Bignoniaceae, com ocorrência em diversos ecossistemas da Caatinga, Cerrado e Pantanal, podendo atingir entre 5 - 20 m de altura e 60 - 100 cm de diâmetro (PINTO et al., 2017). Também conhecida como craibeira, essa espécie possui floração intensa, característica da família dos ipês, com flores polinizadas principalmente por abelhas e beija-flores, gerando frutos com grande quantidade de sementes que não possuem dormência, e tem grande potencial de dispersão devido a suas asas laterais sobrepostas, (OLIVEIRA, 2010; ACRA et al., 2012).

Estudos apontam que mudas desta espécie possuem potencial para uso na recuperação de áreas degradadas, devido sua elevada plasticidade fisiológica (SILVA et al., 2019). Além disso, o uso na engenharia química e farmacológica também são apontados como prospecção de uso desta espécie, tendo em vista a diversidade de compostos químicos presentes em suas folhas, capazes de auxiliar no tratamento de diversas doenças e até mesmo no combate à larvas do mosquito *Aedes aegypti* L. (BRITO et al., 2020; TAHARA et al., 2020).

Entretanto, em razão do alto valor energético de sua madeira, matrizes de *T. caraiba* vêm sofrendo elevada pressão antrópica, tendo seu processo de extinção acelerado em áreas da Caatinga (SÁ et al., 2013). Assim, é necessário entender as fases vegetativa e reprodutiva dessa espécie, tendo em vista que essas informações auxiliarão no manejo correto do ecossistema, bem como poderão possibilitar os diversos usos da espécie de maneira equilibrada.

Trabalhos com avaliação da fenologia de espécies do gênero *Tabebuia* são relatados, a exemplo da caracterização da *T. neochrysantha* Jacq. em uma floresta decídua de planície em Guanacaste, Costa Rica, onde destacaram forte correlação entre a queda das

folhas e o início da estação seca (REICH e BORCHET, 1984). Assim, também, as espécies *T. chrysotricha* Standl e *T. impetiginosa* Mart., avaliadas em condições de ambiente urbano, em São Paulo, Brasil, demonstraram sua fenologia vegetativa afetada pelo regime hídrico imposto (REBELATTO et al., 2013). De forma similar, matrizes de

T. chrysotricha também foram caracterizadas com elevada influência da precipitação pluvial em ambiente urbano, sob condições mais amenas, encontradas no sul do país (MARTINI et al., 2011). Entretanto, não há estudos de avaliação da fenologia de *T. caraiba* e sua correlação com as condições climáticas do Semiárido.

Portanto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a fenologia de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau nas condições do Cariri paraibano e a sua relação com a precipitação pluvial.

2.2 Material e métodos

O estudo foi conduzido, em duas áreas experimentais, durante o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019 nas cidades de São João do Cariri (07° 23' 27" S, 36° 31' 58" W) e Sumé (7° 40' 18" S, 36° 52' 54" W), caracterizando a localização das populações de matrizes avaliadas, ambas no estado da Paraíba, Brasil. Nas duas cidades o clima é classificado como BSh-semiárido quente, com chuvas de verão, e a vegetação é do tipo hiperxerófila, com presença das fases caducifólia e subcaducifólia, de porte pouco elevado, mas com presença da Caatinga arbórea (KÖPPEN e GEIGER, 1928; MARACAJÁ, 2007; BARBOSA et al., 2010).

Na cidade de São João do Cariri a temperatura média é de 25 °C, com precipitação média de 381 mm.ano⁻¹, e umidade relativa do ar de cerca de 70% (ALVARES et al., 2014; SENA et al., 2019). O solo da área de ocorrência das matrizes é caracterizado como Planossolos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados, de textura média a argilosa, moderadamente ácidos e com fertilidade natural alta (MORAIS et al., 2014). Já na cidade de Sumé, a temperatura média é de 24 °C, com precipitação média anual de 584 mm.ano⁻¹ e umidade relativa de 57% (CADIER et al., 1983; SENA et al., 2019). O solo é caracterizado como Bruno Não-Cálcico Vértico, A fraco, e de textura argilosa com elevada fertilidade natural (ALBUQUERQUE et al., 2002).

Em cada área foram selecionadas 30 matrizes por meio de caminhada em forma de trilha, obedecendo a critérios de altura (no mínimo 10 m), diâmetro do caule (maior

que 40 cm) e ausência de doenças. A partir da seleção, as matrizes foram georeferenciadas com auxílio de GPS (Figura 1). Quinzenalmente, as matrizes foram avaliadas quanto à sua fenologia. No início e durante toda a execução do experimento, dados diários de precipitação pluvial nas duas áreas foram obtidos na Agência Executiva de Gestão das Águas



do Estado da Paraíba (AESAs).

Figura 1 - Localização de matrizes de *Tabebuia caraiba* avaliadas em relação à fenologia, nas cidades de São João do Cariri (A) e Sumé (B).

As avaliações fenológicas foram realizadas registrando-se a presença e ausência das fenofases brotação, floração, frutificação e senescência foliar. Essas fases foram definidas da seguinte forma: brotação (emergência de folhas)= caracterizada inicialmente

pela presença de primórdios foliares, geralmente de cor verde claro ou avermelhada, terminando quando as folhas adquirem cor verde escura; senescência= período em que as folhas mudam de cor de verde escuro para marrom e inicia a abscisão espontânea das folhas, formando espaços vazios (falhas) na copa ou nos galhos; floração= quando as flores encontram-se completamente abertas (antese); e frutificação= com início assim que foi possível visualizar os pequenos frutos após a fertilização das flores e termina com a abertura dos frutos e dispersão das sementes (LEAL et al., 2007). As fenofases foram avaliadas de acordo com o índice de atividade e sua intensidade em cada população.

Índice de atividade: a cada 15 dias foi feita a soma de matrizes da mesma população com presença de determinada fenofase; esse número foi multiplicado por 100 e dividido pelo valor máximo possível (número de indivíduos), sendo o resultado obtido em valores percentuais (MORELLATO et al., 1990).

Índice de intensidade: a intensidade de cada fenofase foi avaliada nas matrizes, a cada 15 dias, de acordo com uma escala semiquantitativa de cinco categorias (0 a 4), com intervalo de 25% entre cada categoria, onde 0 = ausência da fenofase e 4 = presença da fenofase em 100% da copa da matriz. Os valores obtidos para todos os indivíduos da espécie foram somados e divididos pelo maior valor máximo possível (número de indivíduos multiplicado por quatro). O resultado, correspondente a uma razão, foi então multiplicado por 100 e convertido em percentual (FOURNIER, 1974).

Entre os anos de observação, a estatística circular foi realizada para se analisar as distribuições do índice de atividade das matrizes em cada fase. Primeiramente, os meses foram transformados em ângulos, sendo janeiro = 0° e dezembro = 360°; calculando-se, desse modo, a frequência de ocorrência dos indivíduos em cada fenofase utilizando o ângulo. As fenofases foram estimadas para os diferentes anos com base na distribuição de frequência e o vetor r (NOGUEIRA et al., 2013).

Os dados fenológicos de intensidade das fenofases foram relacionados à distribuição dos pulsos de chuva, nas áreas onde se localizam as populações, pelo coeficiente de correlação de Spearman (ZAR, 2010), utilizando-se o número de indivíduos sob cada fenofase e a média dos dados climáticos referentes à quinzena de ocorrência do evento, 1, 2 e 3 quinzenas anteriores ao evento fenológico.

Os dados foram analisados utilizando-se o programa R Studio v 3.5, pacotes *agricolae* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

2.3 Resultados e discussão

A partir das observações fenológicas de matrizes de *Tabebuia caraiba* foi possível caracterizar esta espécie como anual, de acordo com seu ciclo reprodutivo, tendo a presença das fenofases vegetativas (brotação e senescência foliar) e reprodutivas (floração e frutificação) no período de um ano (Figura 2).

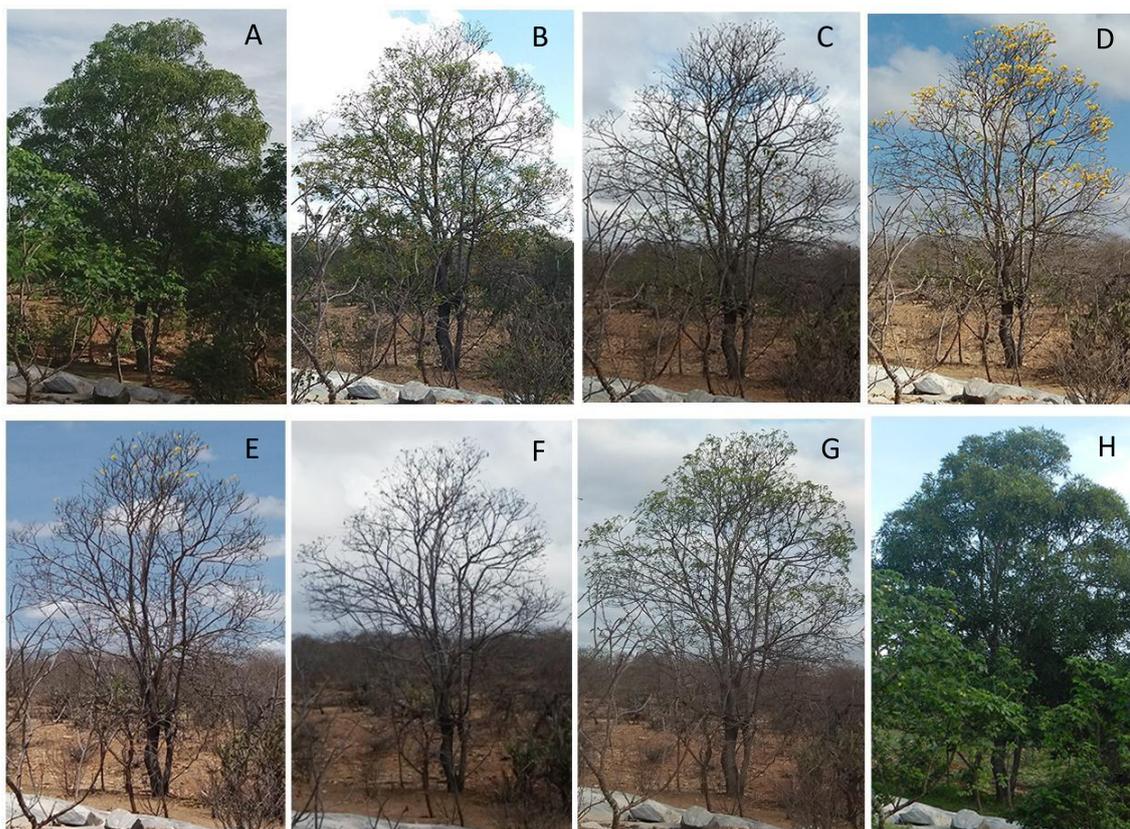


Figura 2 - Incidência de fenofases vegetativas e reprodutivas em *Tabebuia caraiba* em condições de Caatinga, no Cariri paraibano. Repouso vegetativo (folhas completamente expandidas (A e H), início da senescência foliar (B), senescência foliar acentuada e início dos botões florais (C), floração plena (D), frutificação e brotação (E, F e G).

A ocorrência da formação de botões florais foi observada no período de elevada senescência foliar, com brotação ocorrendo durante o final do florescimento e início de frutificação (Figura 2 C-E). A perda de folhas precedendo o florescimento garante a redução na taxa de transpiração e permite a reidratação dos galhos, concentrando a água disponível para a formação de folhas novas e flores (QUIRINO, 2006).

Na avaliação do índice de atividade, todas as fenofases de *T. caraiba* foram caracterizadas de significância ($p < 0,001$) com valores de r variando entre 0,30 a 0,99 (Tabela 1). A maior sazonalidade da fenofase brotação foi verificada no ano de 2019, para as

idades de São João do Cariri e Sumé, com valores de r de 0,83 e 0,73, respectivamente. No entanto, na avaliação da fenofase senescência foliar, constatou-se que mesmo com significância, os valores de r foram baixos (máximo de 0,44), devido à distribuição em vários meses do período de avaliação, com picos de intensidade variável em épocas distintas. De forma diferente, as fenofases floração e frutificação foram caracterizadas com elevada sazonalidade, com valores acima de 0,9.

Tabela 1 - Estatística circular de fenofases para ocorrência de sazonalidade em *Tabebuia caraiba* nos anos de 2018 e 2019, nas cidades de São João do Cariri e Sumé, Paraíba. r - medida de concentração dos dados ao redor do ângulo médio; p - nível de significância do ângulo médio (0,001)

Áreas	Anos	Brotação		Senescência		Floração		Frutificação	
		r	p	r	p	r	p	r	P
SJC	2018	0,51	<0,001	0,30	<0,001	0,90	<0,001	0,92	<0,001
	2019	0,83	<0,001	0,44	<0,001	0,99	<0,001	0,91	<0,001
SU	2018	0,49	<0,001	0,35	<0,001	0,93	<0,001	0,94	<0,001
	2019	0,73	<0,001	0,44	<0,001	0,94	<0,001	0,91	<0,001

Para o ano de 2018, o histograma com a distribuição da fenofase brotação demonstrou na cidade de São João do Cariri as maiores porcentagens de matrizes com emergência de folhas novas (Figura 3) nos meses de agosto (100%), novembro (83,5) e dezembro (96,5%) e também, nos meses de novembro (68,5%) e dezembro (72%), para aquelas da cidade de Sumé. Já no ano de 2019, o período entre os meses de novembro a janeiro concentrou o maior número de matrizes com a fenofase brotação.

A queda das folhas foi visualizada dentre as matrizes durante quase a totalidade dos períodos de avaliação (Figura 4). No ano de 2018, só não houve registros da fase fenológica senescência foliar nos meses de fevereiro e março, com a maior sincronia desta fase entre os meses de agosto a dezembro, nas duas áreas avaliadas, período em que os pulsos de precipitação foram reduzidos.

No ano seguinte (2019), a senescência foliar ocorreu de junho a janeiro, no entanto, destacam-se os meses de outubro e novembro (São João do Cariri) e novembro e dezembro (Sumé) onde ocorreram as maiores porcentagens de matrizes, com queda de folhas, naqueles dois municípios.

Esse comportamento é típico de espécies decíduas ou semidecíduas, pois devido

o ajuste metabólico às condições de escassez de água, raramente possuem sua copa totalmente coberta de folhas (BRITO NETO et al., 2018). Assim, a senescência foliar é a fenofase mais correlata à amplitude e frequência da precipitação pluvial, culminando com uma senescência total das folhas à medida que os interpulsos se intensificam avançando para a estação seca (LIMA et al., 2018).

Na avaliação de outras espécies de *Tabebuia*, autores destacam que estas plantas foram caracterizadas com queda foliar constante, variando de 11 a 89% (REBELATTO et al., 2013). Cabe destacar que a variabilidade no comportamento da fenologia dos indivíduos dentro de uma mesma população é uma estratégia de sobrevivência e adaptação populacional às condições ambientais, garantindo a sustentabilidade do sistema. Trabalhos indicam, de forma complementar, que populações de plantas com assíncronas, com relação à sua fenologia, podem mitigar danos associados à herbivoria ou condições climáticas adversas (LACERDA et al., 2018; ALVES et al., 2021).

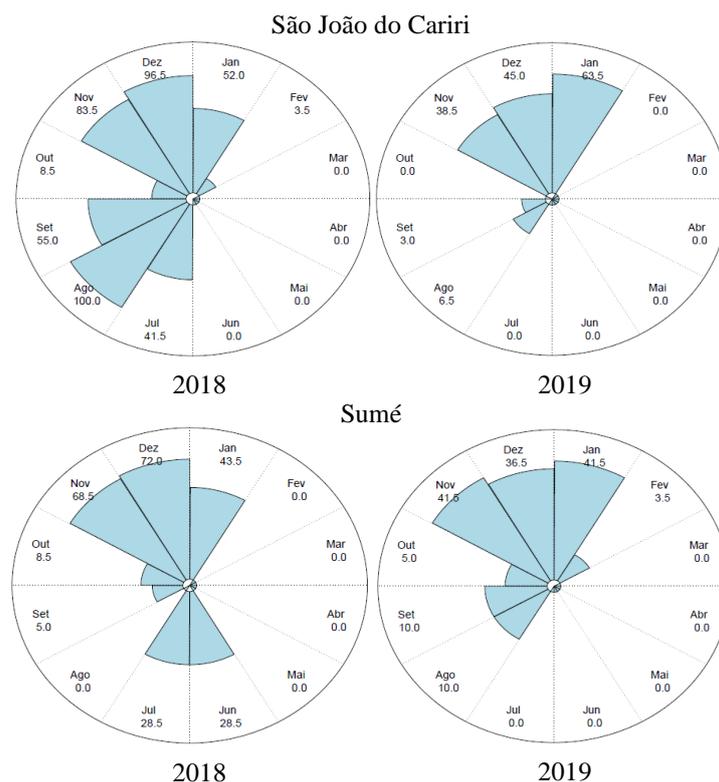


Figura 3 - Distribuição da fenofase brotação de *Tabebuia caraiba* nas cidades de São João do Cariri e Sumé anos de 2018 e 2019.

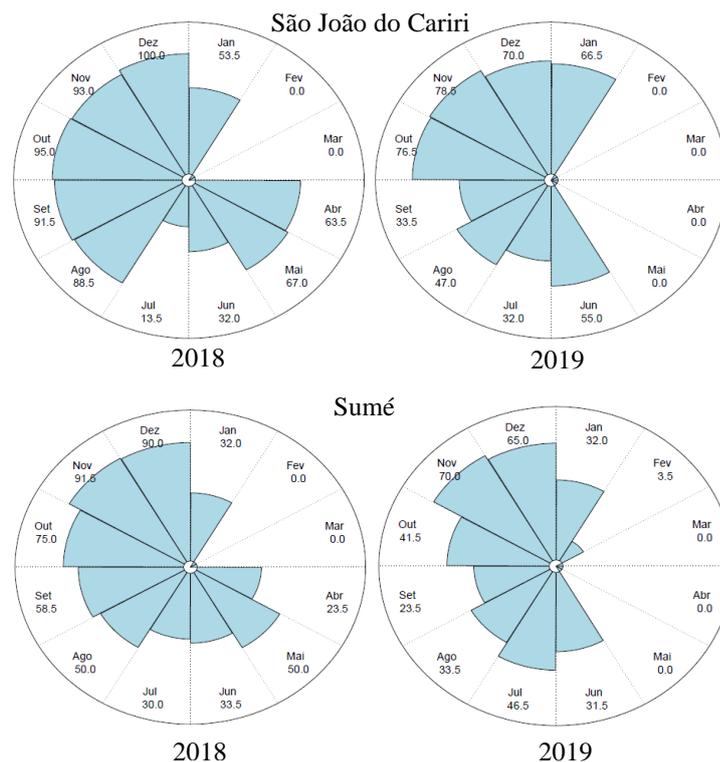


Figura 4 - Distribuição da fenofase senescência foliar de *Tabebuia caraiba* nas cidades de São João do Cariri e Sumé anos de 2018 e 2019.

Com relação ao florescimento, independente da localização da população, a maior porcentagem de matrizes em floração ocorreu no mês de novembro, tanto em 2018 quanto em 2019 (Figura 5). A elevada sincronia também foi visualizada para a fenofase frutificação, com maior impacto em 2018, no mês seguinte ao pico de florescimento, ou seja, em dezembro, e nos meses de novembro e dezembro para o ano de 2019 (Figura 6).

A frutificação nas matrizes de *T. caraiba* foi visualizada por período de três meses (novembro, dezembro e janeiro), no entanto, espécies da Caatinga podem ter a frutificação se estendendo até oito meses, como visualizado em trabalho com as espécies *Poinciana pyramidalis* e *Manihot pseudoglaziovii* (SOUZA et al., 2014).

A elevada sazonalidade para as fenofase reprodutivas (floração e frutificação), indicada na Tabela 1 e visualizada nas figuras 5 e 6, pode ser explicada por fatores genéticos, intrínsecos à espécie e menos dependente de condições ambientais para a sua ocorrência. Populações de *T. chrysotricha*, estudadas quanto a sua fenologia em ambientes diversos, demonstram elevada sazonalidade, com mesma duração dos eventos de floração e frutificação, sendo três meses (MARTINI et al., 2011; REBELATTO et al., 2013).

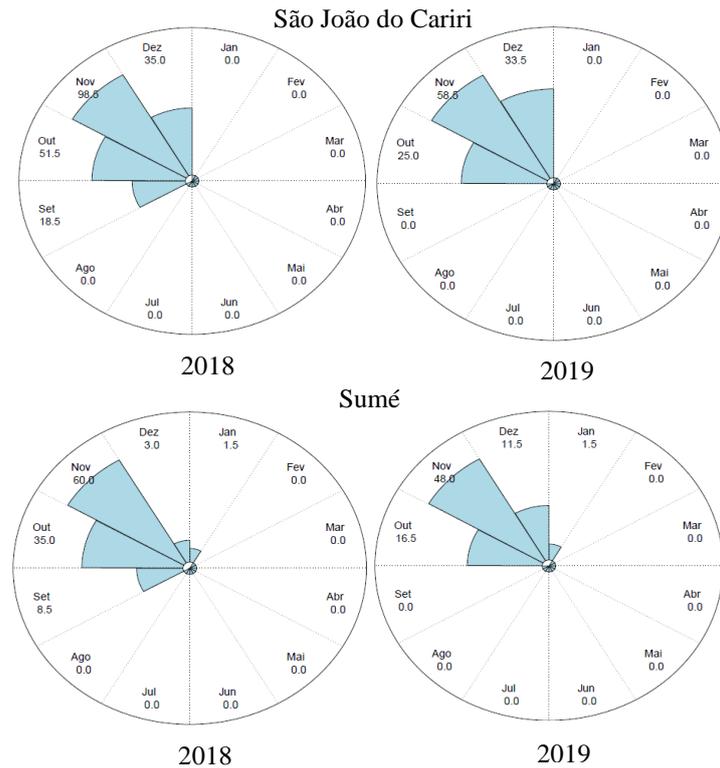


Figura 5 - Distribuição da fenofase floração de *Tabebuia caraiba* nas cidades de São João do Cariri e Sumé anos de 2018 e 2019.

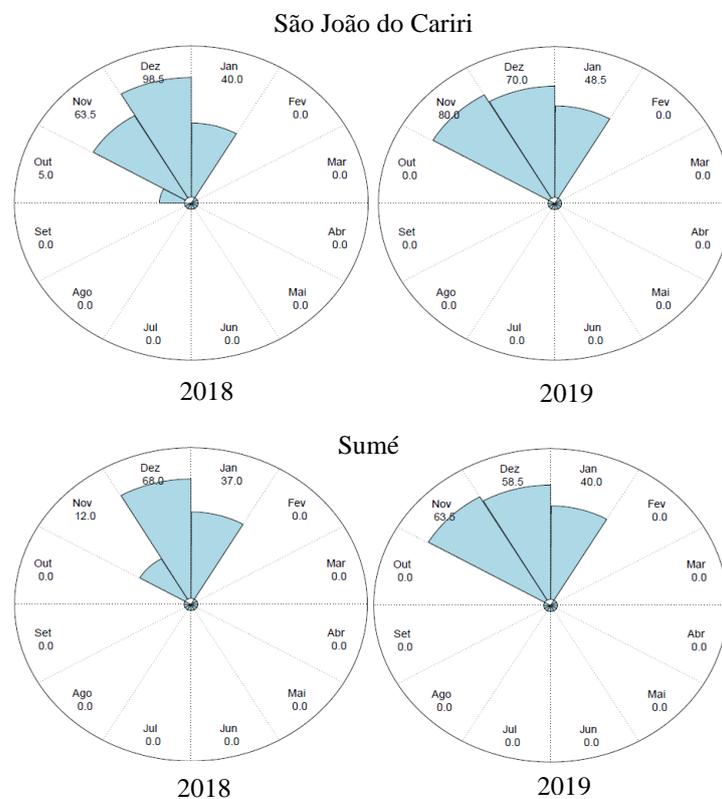


Figura 6 - Distribuição da fenofase frutificação de *Tabebuia caraiba* nas cidades de São

João do Cariri e Sumé anos de 2018 e 2019.

A precipitação pluvial tem correlação negativa com todas as fenofases em matrizes de *T. caraiba*, no entanto com valores baixos (Tabela 2). Para as duas áreas de estudos, a menor correlação significativa foi visualizada na fenofase brotação. Em geral, espécies da Caatinga possuem elevada correlação entre a brotação e a precipitação pluvial, ocorrendo somente a senescência foliar no período sem chuvas (NOGUEIRA et al., 2013; ANDRADE et al., 2020).

Tabela 2 – Valores da análise de correlação de Spearman entre a ocorrência das fenofases e a precipitação pluvial de 0, quinzena de ocorrência do evento; 1, 2 e 3 quinzenas anteriores ao evento fenológico de *Tabebuia caraiba*

	Quinzena	Brotação	Senescência	Floração	Frutificação
São João do Cariri					
Precipitação	0	-0,521*	-0,618*	-0,519*	-0,485*
	1	-0,546*	-0,649*	-0,538*	-0,553*
	2	-0,564*	-0,637*	-0,540*	-0,605*
	3	-0,576*	-0,462*	-0,587*	-0,572*
Sumé					
Precipitação	0	-0,329 ^{ns}	-0,454*	-0,311 ^{ns}	0,082 ^{ns}
	1	-0,358 ^{ns}	-0,573*	-0,473*	-0,168 ^{ns}
	2	-0,414*	-0,571*	-0,410*	-0,314 ^{ns}
	3	-0,365 ^{ns}	-0,523*	-0,472*	-0,438*

^{ns} Média não significativa; * média significativa ($p < 0,05$) pela correlação de Spearman.

No entanto, para matrizes de *T. caraiba*, nas condições do experimento, a brotação de folhas novas antecedeu o período de chuvas. Uma hipótese para esse resultado é a distribuição das matrizes às margens de cursos d'água de rio intermitente, em solos aluviais que são formados pela deposição de diversos sedimentos. Em condições semiáridas, também em solos aluviais no estado da Bahia, plantas de *Sideroxylon obtusifolium* apresentaram brotação durante todo o ano, condição justificada pela profundidade das raízes das plantas e a possível reserva de água no solo (KILL et al., 2014). Ademais, trabalhos destacam estratégias para a continuidade dos processos fisiológicos de plantas de *T. caraiba*

em condições de seca, relacionando-a ao potencial hídrico foliar devido ao controle estomático e ao sistema radicular profundo, e ainda, ressaltando a densidade de madeira, por possuir um sistema hidráulico mecanicamente mais resistente e menos suscetível à cavitação (DOMBROKI et al., 2011; SCHUMANN et al., 2019).

Assim, reafirma-se a diversidade de estratégias utilizadas pelas plantas de ambientes tropicais, sobretudo naquelas em regiões semiáridas tão necessárias de estudos (JAPIASSU et al., 2016; SILVA et al., 2018; STAGGEMEIER et al., 2020).

A senescência foliar teve a maior correlação observada, sendo negativa, sobretudo com os pulsos de precipitação que ocorreram em até duas quinzenas anteriores a este evento fenológico, nas duas cidades. O aumento da evapotranspiração e a necessidade de reduzir a perda de água durante a estação seca justifica esse comportamento bastante presente em ecossistemas do Nordeste brasileiro (FRANCISCO et al., 2016). De forma diferente, as fenofases de floração e frutificação de *T. caraiba* possuem baixa correlação negativa com a precipitação pluvial, sobretudo nas matrizes do município de Sumé. Matrizes de *Myracrodruon urundeuva* também tiveram a frutificação com baixa correlação com a precipitação pluvial em ambiente de Caatinga no Cariri paraibano, com precipitação pluvial média de 450 mm.ano⁻¹, entretanto, foi verificado que a produção de frutos ocorreu em maior uniformidade entre as plantas durante o período chuvoso (AZEVEDO et al., 2018).

No primeiro ano de avaliação (2018), a precipitação pluvial ocorreu em pulsos agrupados entre os meses de janeiro a maio (de 01 a 121 Dias Juliano (DJ)) tanto na área de São João do Cariri, quanto em Sumé, destacando que nessa última área, também nos meses de novembro e dezembro (329 e 357 DJ), houve registros de precipitação pluvial (Figura 7). Em 2019, os pulsos de precipitação foram visualizados entre janeiro (366 DJ) e agosto (596 DJ), ainda que de forma inconstante nas duas cidades. Essa variação espacial é uma das causas de fragmentação em ambientes semiáridos afetando a diversidade e o comportamento adaptativo de espécies presentes no ecossistema (NOY-MEIR, 1973). É importante destacar que, mesmo sendo visualizados picos de precipitação pluvial de até 87 mm, em geral, a maioria dos pulsos de precipitação foi caracterizada com até 30 mm. O Cariri paraibano está situado no fim do percurso dos fluxos úmidos que se direcionam para o semiárido nordestino e em situação de sotavento, fazendo parte da diagonal mais seca do Brasil, evidenciando o baixo índice pluvial característico da região de realização do experimento (SOUSA et al., 2008). Assim, a precipitação toma destaque na eficiência

da produção vegetal nestes ambientes, tendo em vista que em ecossistemas áridos a precipitação é tão baixa que a água é o fator de controle dominante para os processos biológicos (NOY-MEIR, 1973).

O índice de intensidade de Fournier mostra, por meio de picos, quando uma determinada fenofase ocorre mais intensamente na população, estimando a quantidade de folhas novas, senescência de folhas, flores e frutos produzidos. Assim, a fenofase brotação foi verificada já no início das avaliações, em 2018, com cerca de 30% de intensidade, nas localizadas nas duas cidades, com ausência dessa fenofase (brotação) logo no mês de fevereiro (46 DJ), período que também havia pulsos de precipitação (Figura 7).

No mesmo ano, a emergência de folhas voltou a ocorrer em julho (212 DJ) e junho (166 DJ), nas cidades de São João do Cariri e Sumé, respectivamente, ambas após o encerramento das chuvas. A rápida recomposição da parte aérea após o período chuvoso é característica de diversas espécies de zonas semiáridas, utilizando da disponibilidade de água para recompor a massa vegetativa perdida (TAIZ et al., 2017; LIMA et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019b).

No entanto, as maiores intensidades de brotação foram visualizadas em períodos que antecederam as estações chuvosas. Na cidade de São João do Cariri o novo pico ocorreu em janeiro de 2019 (380 DJ), com intensidade de 56% (Figura 7 A). Espécies da Caatinga, em geral, se comportam com rápida recomposição da copa através da emergência de folhas logo após o período inicial das chuvas, com precipitação pluvial em quantidade suficiente para reidratar a planta (OLIVEIRA et al., 2019b; ANDRADE et al., 2020).

Entretanto, no ano de 2019, as brotações em matrizes de *T. caraiba* também foram verificadas em meses mais secos, com pico de 35% em novembro (699 DJ), reduzindo-se a partir daí. Além das plantas estarem localizadas em área com solo medianamente profundo, podendo dispor de alguma reserva de água subsuperficial, autores destacam que espécies da Caatinga possuem a possibilidade de iniciar a brotação em períodos secos, devido ao armazenamento de água nos troncos das árvores, tendo relação direta com a densidade da madeira (LIMA e RODAL, 2010). A *T. caraiba* possui madeira densa, com valores de $0,85 \text{ g.cm}^{-3}$, sendo possível a emergência de folhas em situação de restrição hídrica devido à remobilização de compostos de carbono e nutrientes de ocorrência em espécies perenes e decíduas, que ainda contam com maior taxa fotossintética por unidade de massa, refletindo o baixo investimento de carbono na construção da folha, porém, com eficiente assimilação de carbono (PAULA e ALVES, 2007; SOUZA et al., 2015). Esse esforço energético dispara a emissão de gemas vegetativas, mas, a expansão das folhas é

garantida de forma eficiente pela água que será disponibilizada nas chuvas seguintes. Espécies de *Tabebuia* avaliadas em condições de ambiente urbano também demonstraram esse comportamento (REBELATTO et al., 2013).

Nas matrizes localizadas na cidade de Sumé, no ano de 2018, a emergência das folhas foi verificada, ocorrendo pico de brotação das matrizes no mês de dezembro (349 DJ), até janeiro do ano seguinte (380 DJ), concomitantemente com a ocorrência de chuvas espaçadas. Entretanto, mesmo com pulsos de precipitação de 5,2 mm e 9,1 mm (658 DJ e 694 DJ, respectivamente) registrados na área, pode-se caracterizar a presença da brotação em períodos de seca, com aumento em novembro de 2019, atingindo 24% (699 DJ).

Em relação à fenofase senescência foliar, as matrizes foram caracterizadas com queda de folhas durante os 35 dias iniciais de avaliação, em 2018 (Figura 7). A senescência foliar é um processo biológico crucial que marca o envelhecimento e a eventual morte das folhas nas plantas, e é dependente da idade da planta, sinais ambientais e estresses bióticos e abióticos (TAIZ et al., 2017). Destaca-se para estas matrizes, processo de senescência foliar visualizado inicialmente pelo amarelecimento das folhas que precediam a queda. Em São João do Cariri, as matrizes voltam a apresentar senescência foliar em abril (105 DJ), período ainda com presença de chuvas. No entanto, é a partir do início da estação seca que a senescência foliar se intensifica, aumentando a partir de agosto de 2018 (227 DJ), com pico máximo de 59% no mesmo mês de novembro (319 DJ). No ano seguinte, o maior pico de senescência foliar (60%) foi atingido em novembro (699 DJ), sem ocorrência de chuvas (Figura 7-A).

A perda de folhas em períodos com baixa disponibilidade de água é característica em plantas da Caatinga, sobretudo, em espécies com reduzido acúmulo de água em sua madeira devido à densidade (PARENTE et al., 2012; SOUZA et al., 2014; LIMA et al., 2018). Matrizes de *Cnidoscolus quercifolius* Pohl, em condições da Caatinga paraibana também concentraram a máxima atividade de queda foliar durante os períodos secos, sendo resposta de seu ciclo anual, em que recursos como água e nutrientes estão sendo consumidos em pequenas quantidades (OLIVEIRA et al., 2019). De forma similar, matrizes de *Croton blachetianus* Baill também demonstraram aumento de abscisão foliar em períodos de interpulsos de precipitação (ANDRADE et al., 2020).

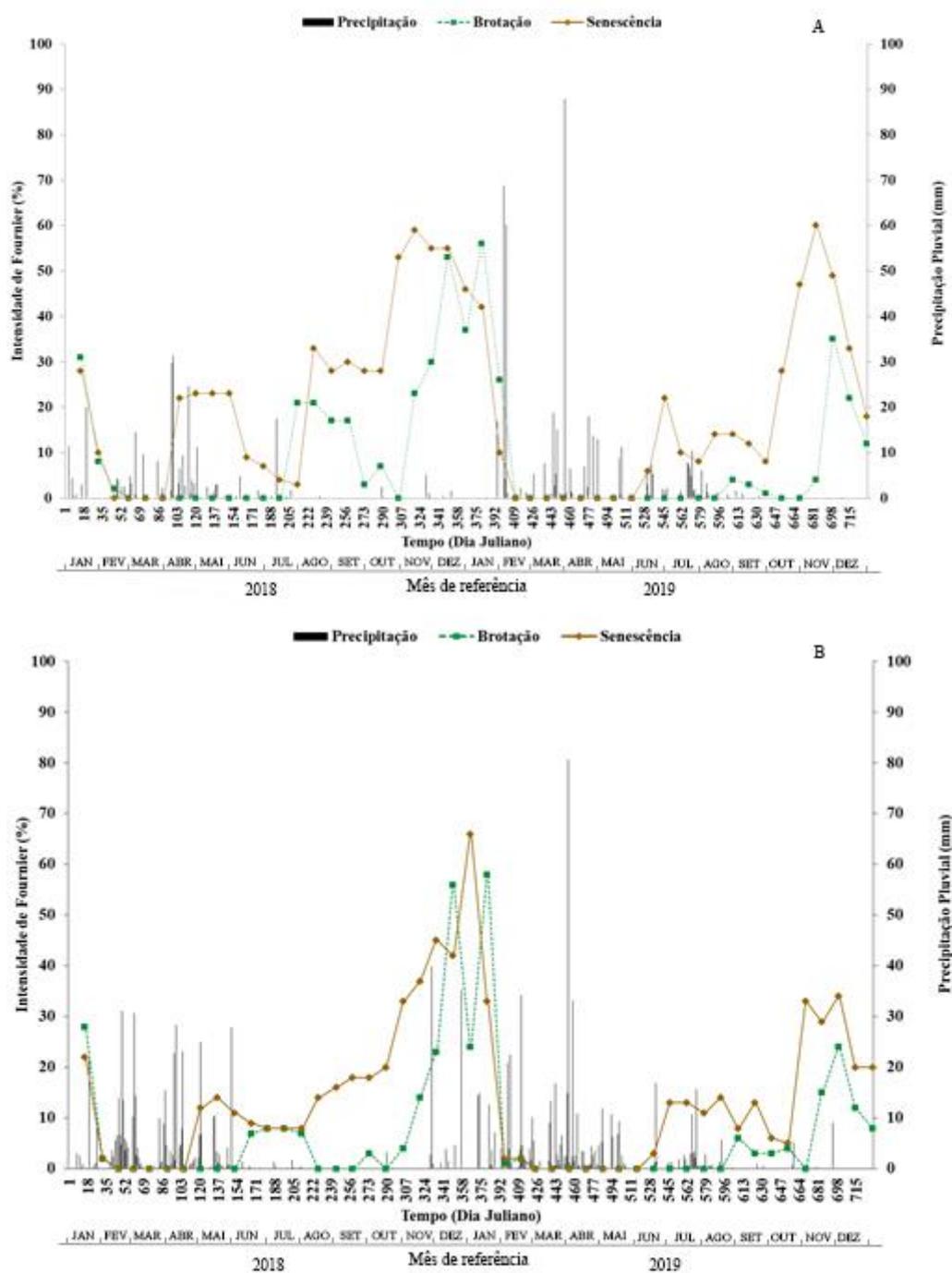


Figura 7 - Precipitação pluvial e intensidade de Fournier apresentada por *Tabebuia caraiba* para as fenofases de brotação e senescência foliar avaliadas no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019, nas cidades de São João do Cariri (A) e Sumé (B).

Nas matrizes localizadas na cidade de Sumé, a senescência foliar foi visualizada nos meses semelhantes aos de ocorrência em São João do Cariri, diferindo, apenas, no mês de dezembro (365 DJ) onde se registrou o pico de 66% de intensidade em 2018, redu-

zindo a partir daí. Destaca-se, ainda, nos meses de novembro e dezembro de 2018 a ocorrência de alguns pulsos de precipitação. Além disso, o maior pico de intensidade no ano de 2019, foi menor que o ano anterior, com valor máximo de 34%, em novembro (699 DJ), momento que se registrou um pulso de precipitação (Figura 7-B).

Importa destacar que, para essa fenofase, independente do local das matrizes, a ocorrência precedeu períodos de floração, o que indica que nutrientes advindos das folhas podem ter sido realocados para a produção de flores. Durante o processo de senescência foliar a assimilação de carbono desse órgão é substituída pela decomposição e conversão de clorofila, proteínas e outras macromoléculas em nutrientes que, através da translocação, podem ser utilizados em crescimento de frutos (TAIZ et al, 2017).

Na avaliação das fenofases floração e frutificação, foi possível observar que esses eventos ocorreram anualmente nas matrizes de *T. caraiba*. Outra observação importante é que tanto o florescimento quanto a frutificação surgiram de forma sincronizada entre as duas cidades, durante toda a execução do experimento (Figura 8). Nas duas cidades avaliadas, as matrizes iniciaram o florescimento na estação seca, ou seja, no mês de setembro (258-273 DJ) de 2018, com maior pico no mês de novembro (319 DJ). Enquanto no ano seguinte, o florescimento deu início em outubro (669 DJ), com pico em novembro (684 DJ). Esses resultados divergem de trabalhos realizados com *Anadenanthera colubrina*, *Cordia oncocalyx*, *Poincianella pyramidalis*, *Manihot pseudoglaziovii* e *Pseudobombax* cf. *Marginatum*, espécies constantes do bioma Caatinga, onde o florescimento e a frutificação foram concentrados nas estações chuvosas (SOUZA et al., 2014; JAPIASSU et al., 2016).

O florescimento das espécies é também resultado da relação ecológica planta-polinizador, que engloba o entendimento da estrutura floral da espécie e de quais os principais agentes responsáveis pela polinização (ROSSATO e KOLB, 2011). Devido a impossibilidade de autopolinização, os insetos são os principais agentes polinizadores desta espécie em campo, sobretudo, aqueles da família *Meliponidae* e *Vespidae* (ACRA et al., 2012). Dessa forma, a abertura das flores durante a estação seca facilita a ação destes agentes polinizadores, isto porque quantidades elevadas de chuvas aumentam a degradação do pólen e diluição do néctar, e ainda podem causar restrições mecânicas e energéticas a estes agentes (LAWSON e RANDS, 2019). Assim, diminuir impedimentos à polinização pelos insetos, é também facilitar a reprodução sexual das plantas, com ganhos na geração de frutos e produção de sementes.

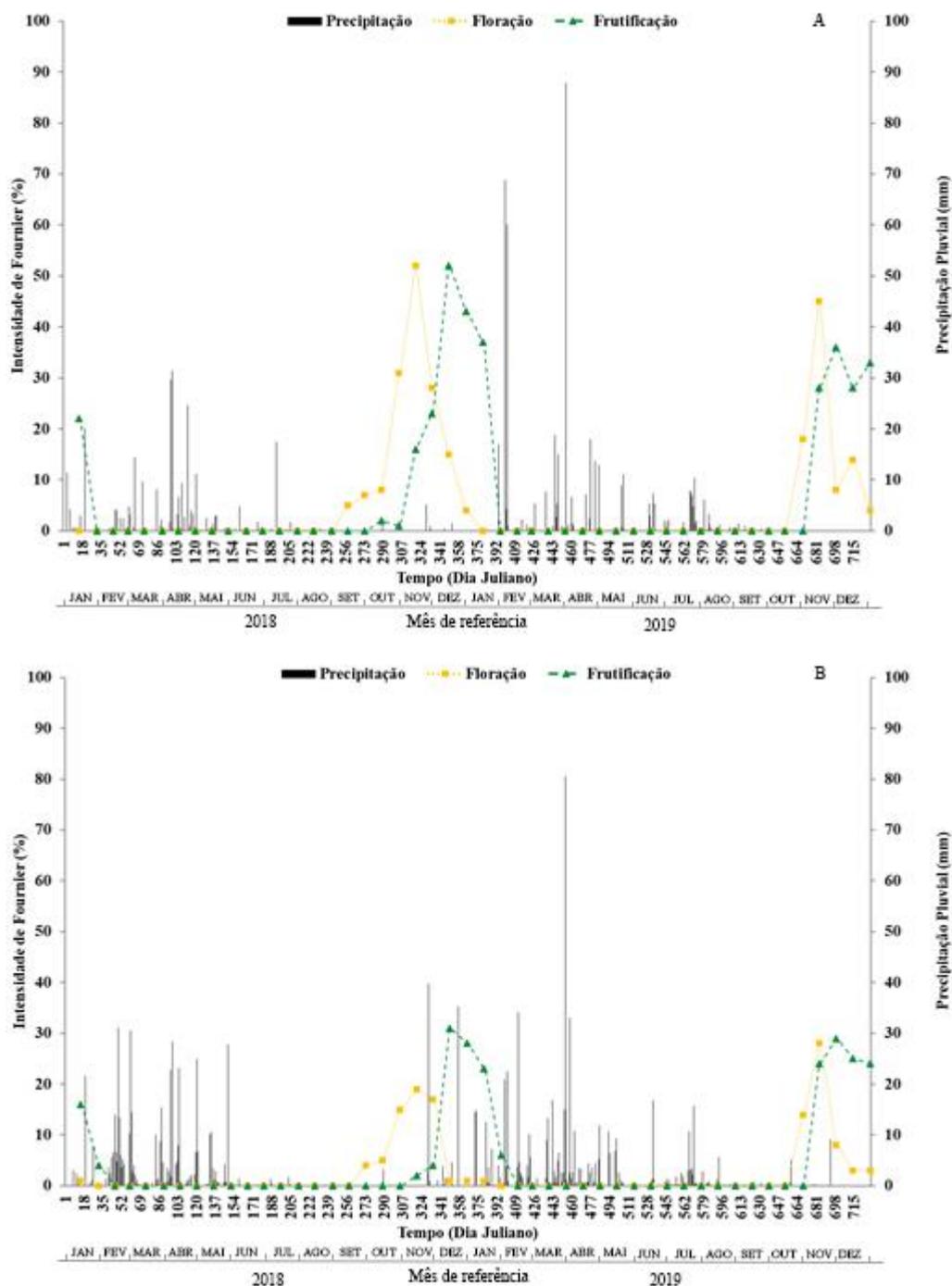


Figura 8 - Precipitação pluvial e intensidade de Fournier apresentada por *Tabebuia cariba* para as fenofases floração e frutificação avaliadas no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019, nas cidades de São João do Cariri (A) e Sumé (B).

Na avaliação da frutificação foi possível perceber que na quinzena seguinte à antese, as sépalas já haviam se desprendido do conjunto floral, e um fruto em estágio inicial poderia ser visualizado, completando seu desenvolvimento em uma média de 49 dias após

a antese. Dessa forma, a fenologia reprodutiva foi caracterizada com ocorrência dos eventos de florescimento e frutificação com diferença de uma a duas semanas entre eles.

A frutificação das matrizes avaliadas do ano de 2018, foi iniciada em novembro (319 DJ), atingindo o pico em dezembro (349 DJ), reduzindo a partir daí (Figura 8). No ano de 2019, esse evento teve seu início também no mês de novembro (684 DJ), com pico no mesmo mês (699 DJ). A produção de frutos por espécies nativas de regiões áridas e semiáridas está relacionada à síndrome de dispersão das sementes, de forma que, espécies com dispersão anemocórica apresentam frequência máxima de dispersão ao final da estação seca (PILON et al., 2015). Assim, é importante destacar que esse período de transição da estação seca para a chuvosa é caracterizado com ventos de maior velocidade e menor umidade relativa, o que propicia a abertura dos frutos secos e ainda o transporte das sementes a longas distâncias (PIRANI et al., 2009; ROSSATO e KOLB, 2011; JAPIASSU et al., 2016).

Atualmente, estudos comprovam que devido a disponibilidade de água à germinação de sementes ocorrer de forma descontínua em ambientes áridos e semiáridos, os ciclos de hidratação e desidratação decorrentes desempenham um papel relevante na persistência e dinâmica das plantas nesses ecossistemas (LIMA e MEIADO, 2017). Sementes de espécies de ambientes semiáridos podem apresentar memória hídrica após serem submetidas aos ciclos de hidratação e desidratação, auxiliando no estabelecimento e desenvolvimento das mudas destas espécies (DUBROVSKY, 1996; LIMA e MEIADO, 2018).

No entanto, a abertura dos frutos e liberação de sementes em um ambiente com pulsos de precipitação mais frequentes favorecem à germinação das sementes em campo, garantindo, dessa forma, que a germinação não se inicie como resposta a apenas um único pulso de precipitação, mas, tenha água disponível para completar seu ciclo (NOY-MEIR, 1973).

2.4 Conclusões

Para as condições do Cariri paraibano, a *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau possui ciclo reprodutivo anual, concentrando as fenofases: brotação, floração e frutificação na estação seca, nos meses de novembro e dezembro;

Dentre as fenofases vegetativas (brotação e senescência) e reprodutivas (floração e frutificação) observadas em *T. caraiba*, a senescência foliar se destaca por possuir a

menor sazonalidade e ocorrer em diversos meses independente do ano;

A precipitação pluvial é correlacionada de forma significativa com as fenofases vegetativas e reprodutivas avaliadas, com maior correlação negativa para a senescência foliar.

REFERÊNCIAS

- ACRA, L.A.; CARVALHO, S.M.; CERVI, A.C. Biologia da polinização e da reprodução de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC) Mattos (*Bignoniaceae* Juss.). **Estudos de Biologia**, v. 34, n. 82, 2012.
- ALBUQUERQUE, A.W.; NETO, F.L.; SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, J.R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ALVES, I.J.; PAZ, J.R.L.; MOREIRA, A.L.C.; PIGOZZO, C.M. Fenologia reprodutiva e vegetativa de três espécies ocorrentes em uma área de restinga urbana em Salvador, Bahia, Brasil. **Hoehnea**, 48, e722020, 2021. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-72/2020>
- ANDRADE, A.P.; DA SILVA, D.S.; BRUNO, R.D.L.A.; DA SILVA, D.L.S.; JUNIOR, J.L.D.A.M.; MAGALHÃES, A.L.R.; DE MEDEIROS, A.N. Temporal rainfall variability as inductor of the phenology of Brazilian semiarid species. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 2, p. 299-307, 2020.
- AZEVEDO, A.I.B.D.; SILVA, G.Z.D.; BRUNO, R.D.L.A.; ANDRADE, A.P.D.; CRUZ, J.D.O. Chronological analysis of the physiological quality of diaspores of *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. in semiarid regions. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 40, e39423, 2018.
- BARBOSA, M.R.V.; ABÍLIO, F.J.P.; QUIRINO, Z.M. Vegetação da Caatinga. In: Abílio, F. J. P. et al. (Org.). Bioma Caatinga: ecologia, biodiversidade, educação ambiental e práticas pedagógicas. João Pessoa: **Editora Universitária da UFPB**. vol. 5, n. 1 – pp. 171-193, 2010.
- BRAGA, A.M.S.; LIMA, G.A.; TEODORO M.S.; LEMOS, J.R. Fenologia de três espécies arbóreas em um trecho de vegetação subcaducifólia no norte do Piauí, Brasil. **Biotemas**. v. 32, n. 2, p. 33-44, 2019.
- BRITO NETO, R.L.; ARAÚJO, E.I.D.P.; MACIEL, C.M.S.; PAULA, A.D.; TAGLIAFERRE, C. Fenologia de *Astronium graveolens* Jacq. em floresta estacional decidual em Vitória da Conquista, Bahia. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 641-650, 2018.
- BRITO, M.C.A.; PEREIRA, L.P.L.A.; GUIMARÃES, S.J.A.; CASTRO JÚNIOR, J.R.; CHAGAS, V.T. Bioprospection of *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. Hook. f. ex S. Moore: Chemical, Biological and Toxicity Studies. **Preprints**. v. 1, 2020010249, 2020.
- CADIER, E.; FREITAS, B.J.; LEPRUN, J.C. **Bacia Experimental de Sumé: Instalação e primeiros resultados**. Recife: SUDENE, Série Hidrologia 16, p. 87, 1983.
- DOMBROSKI, J.L.D.; PRAXEDES, S.C.; DE FREITAS, R.M.O.; PONTES, F.M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, v.

77, n. 2, p. 430-434, 2011.

DUBROVSKY, J.G. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. **American Journal of Botany**, v. 83, p. 624-632, 1996.

FORZZA, R.C.; BAUMGRATZ, J.F.A; BICUDO, C.E.M; CANHOS, D.A.L.; CARVALHO JR., A.A.; COELHO, M.A.N.; COSTA, A.F.; COSTA, D.P.; HOPKINS, M.G.; LEITMAN, P.M.; LOHMANN, L.G.; LUGHADHA, E.N.; MAIA, L.C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M.P.; 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.C. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **Bio Science**, v.62, n. 1, 2012.

FOURNIER L.A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**. v. 25, n.4, p. 422-423, 1974.

FRANCISCO, P.R.M.; MEDEIROS, R.M.; TAVARES, A.L.; SANTOS, D. Variability space-temporal of annual precipitation of wet and dry period in the Paraíba state. **J. Hyperspectral Remote Sens**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250 000. Rio de Janeiro: IBGE, 168p. 2019.

JAPIASSÚ, A.M.; LOPES, K.P.; DANTAS, J.G.; NÓBREGA, J.S. Fenologia de quatro espécies arbóreas da Caatinga no Semiárido Paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 4, p.34-43, 2016.

KIILL, L.H.P.; MARTINS, C.T.D.V.D.; SILVA, P.P. Biologia reprodutiva de *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) T.D. Penn. (Sapotaceae) na região semiárida da Bahia. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 1015–1025, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600006>

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cm x 200cm. 1928.

LACERDA, D.M.A.; ROSSATTO, D.R.; RIBEIRO-NOVAES, E.K.M.D.; ALMEIDA JR, E.B. Reproductive phenology differs between evergreen and deciduous species in a Northeast Brazilian savanna. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, p 367-375, 2018.

LAWSON, D.A.; RANDS, S.A. The effects of rainfall on plant–pollinator interactions. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 14, p. 193-206, 2019.

LEAL, I.R.; PERINI, M.A.; CASTRO, C.C. **Estudo Fenológico de Espécies de Euphorbiaceae em uma Área de Caatinga**. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 8, Caxambu. Anais... [s. l.: s. n.], p. 1-2, 2007.

LIMA, A.L.A.; RODAL, M.J.N. Phenology and Wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments, Devon**, v. 74, p. 1363-1373, 2010.

LIMA, A.T.; MEIADO, M.V. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Seed Science Research**, v. 27, p. 292-302, 2017.

LIMA, A.T., MEIADO, M.V. Effect of hydration and dehydration cycles on *Mimosa tenuiflora* seeds during germination and initial development. **South African Journal of Botany**, v. 116, p. 164-167, 2018.

LIMA, C.F.; BRUNO, R.L.A.; ANDRADE, A.P.; PACHECO, M.V.; QUIRINO, Z.G.M.; SILVA, K.R.G.; BELARMINO, K.S. Phenology of *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz and its relationship with the temporal distribution of rainfall in the Brazilian semi-arid region. **Ciência Florestal**. v. 28, n. 3, p.1035-1048, 2018.

MARACAJÁ, N.F. **Vulnerabilidades: a construção social da desertificação no município de São João do Cariri-PB**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

MARQUES, F.J.; CABRAL, A.G.A.; DE LIMA, C.R.; DE FRANÇA, P.R.C. Florística e estrutura do componente arbustivo-arbóreo da caatinga nas margens do rio Sucuru em coixola, Paraíba: reflexos da antropização. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n.4, p.20058-20072, 2020.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A.C. Fenologia de *Tabebuia chrysotricha* (ipê-amarelo) no ambiente urbano de Curitiba (PR). **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 4, p.51-67, 2011.

MEDEIROS, E.S.D.; LIMA, R.R.D.; OLINDA, R.A.D.; SANTOS, C.A.C.D. Modeling Spatio temporal Rainfall Variability in Paraíba, Brazil. **Water**, v. 11, n. 9, p.1843, 2019.

MORAIS, L.G.B.D.L.; FRANCISCO, P.R.M.; DE MELO, J.A.B. Análise da cobertura vegetal das terras de região semiárida com o uso de geotecnologias. **Polêm!ca**, v. 13. n. 3, p.1345-1363, 2014.

MORELLATO, L.P.C.; RODRIGUES, R.R.; FILLHO, H.F.L.; JOLY, C.A. Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta de altitude na Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, n. 1, p. 149-62, 1990.

NOGUEIRA, F.C.B.; FILHO PACHECO A.J.S.; GALLÃO, M.I.; BEZERRA A.M.E.; FILHO MEDEIROS, S. Fenologia de *Dalbergia cearensis* Ducke (Fabaceae) em um fragmento de floresta estacional, no semiárido do nordeste, Brasil. **Revista Árvore**. v. 37, n. 4, p.657-667, 2013.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Review of Ecology and Systematics**. v. 4, p.25-41, 1973.

OLIVEIRA, E.C.S.; COSTA JÚNIOR, E.O.; FERNANDES, P.D.; TRAJANO, E.V.A. Photochemical efficiency of photosystem II (PSII) and water potential of *Cnidocolus quercifolius* Pohl in áreas of caatinga paraibana. **Iheringia Série Botânica**, v. 69, p. 479-487, 2014.

OLIVEIRA, É.C.S.; JÚNIOR, E.O.C.; FERNANDES, P.D.; QUIRINO, Z. G. M. Estudo fenológico de populações de *Cnidocolus quercifolius* no Seridó Ocidental, Paraíba, Brasil. **Rodriguésia**, v. 70, e02352016, 2019.

OLIVEIRA, L.Z. **Variabilidade genética de caracteres morfológicos e germinação de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bur. (Bignoniaceae) no município de Macapá, AP.** 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Campus de Jaboticabal Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

OLIVEIRA, M. M. D.; GALVÃO, E. K. D. S.; SOUZA, C.L. M.; BOAVENTURA, V. D. J.; OLIVEIRA, L. M. D.; CASTRO NETO, M. T. D.; PELACANI, C. R. Crescimento e partição de massa seca em plantas jovens de amburana (*Amburana cearenses* (Fr. All.) AC Smith) e de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1142-1153, 2019b.

PARENTE, H.N.; ANDRADE, A.P.; SILVA, D.S.; SANTOS, E.M.; ARAÚJO, K.D.; PARENTE, M.O.M. Influência do pastejo e da precipitação sobre a fenologia de quatro espécies em área de Caatinga. **Revista Árvore**, v. 36, n.3, p.411-421, 2012.

PAULA, J.E.; ALVES, J.L.H. 897 madeiras nativas do Brasil: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Porto Alegre: **Editora Cinco Continentes**, 2007, 438p.

PILON, N.A.L.; UDULUTSCH, R.G.; DURIGAN, G. Padrões fenológicos de 111 espécies de Cerrado em condições de cultivo. **Hoehnea**, v. 42, n.3, p.425-443, 2015.

PINTO, J.R.S.; DOMBROSKI, J.L.D.; FREITAS, R.M.O. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook., sob sombreamento no semiárido. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 465-472, 2017.

PIRANI, J.R., SANCHEZ, M.; PEDRONI, F. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 4, p. 1096-1110, 2009.

QUIRINO, Z. G. M. **Fenologia, síndromes de polinização e dispersão e recursos florais de uma comunidade de caatinga no Cariri paraibano.** 117 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

REBELATTO, D.; LEAL, T.S.; DE MORAES, C.P. Fenologia de duas espécies de ipê em área urbana do município de Araras, São Paulo, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2013.

REICH, P.B.; BORCHERT, R. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, v. 72, n. 1, p. 61-74, 1984.

ROSSATTO, D.R.; KOLB, R.M. Comportamento fenológico da liana *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl.) Miers (*Bignoniaceae*) em área de cerradão na Estação Ecológica de Assis, SP. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 3, p. 289-296, 2011.

SÁ, F.V.S.; ARAUJO, J.L.; NOVAES, M.C.; SILVA, A.P.; PEREIRA, F.H.F.; LOPES, K.P. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do nordeste brasileiro

tratado com corretivos. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 388-396, 2013.

SCHUMANN, K.; LEUSCHNER, C.; SCHULDT, B. Xylem hydraulic safety and efficiency in relation to leaf and wood traits in three temperate *Acer* species differing in habitat preferences. **Trees - Structure and Function**, v. 33, n. 5, p. 1475–1490, 2019.

SENA, J.P.O.; NETO, J.M.M.; LUCENA, D.B. Variabilidade da precipitação em Sumé e São João do Cariri e suas consequências na agropecuária. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 278-293, 2019.

SILVA, M.C.; MACIEL, D.; COELHO, M.C.B.; GIONGO, M.; PEREIRA, J.F.; SANTOS, A.F. Avaliação do crescimento inicial das mudas de *Tabebuia serratifolia* (Ipê Amarelo) sob diferentes regimes hídricos. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 2, p. 299-303, 2019.

SILVA, M.C.; SOUZA, R.E.V.M.; SILVA, B.R.L.; OLIVEIRA, V.G.; MELO, F.P.L. Heterogeneidade de substratos e diversidade de herbáceas na Caatinga sedimentar e cristalina. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**. v. 3, n.1, p.45-53, 2018.

SOUSA, R.F.; BARBOSA, M.P.; TERCEIRO NETO, C.P.C.; CARVALHO, A.P.; LIMA, A.N. Uso de geotecnologias no diagnóstico da degradação das terras do município de São João do Cariri-PB. **Revista Caatinga**, v.21, n.1, p. 204-210, 2008.

SOUZA, B.C.D.; OLIVEIRA, R.S.; ARAÚJO, F.S.D.; LIMA, A. L. A. D.; RODAL, M. J. N. Divergências funcionais e estratégias de resistência à seca entre espécies decíduas e sempre verdes tropicais. **Rodriguesia**, v. 66, n. 1, p. 21-32, 2015.

SOUZA, D.D.; PACHECO, C.S.G.R. Espécies nativas para alimentação de ruminantes em Ouricuri-PE e seus impactos ambientais. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v. 15, n. 1, p. 71-78, 2019.

SOUZA, D.N.N.; CAMACHO, R.G.V.; MELO, J.I.M.; ROCHA, L.N.G.; SILVA, N.F.S. Estudo fenológico de espécies arbóreas nativas em uma unidade de conservação de caatinga no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Biotemas**. v. 27, n. 2, p.31-42, 2014.

STAGGEMEIER, V.G.; CAMARGO, M.G.G.; DINIZ-FILHO, J.A.F.; FRECKLETON, R.; JARDIM, L.; MORELLATO, L.P.C. The circular nature of recurrent life cycle events: a test comparing tropical and temperate phenology. **Journal of Ecology**, v. 108, n. 2, p.393-404, 2020.

TAHARA, T.; WATANABE, A.; YUTANI, M.; YAMANO, Y.; SAGARA, M.; NAGAI, S.; SAITO, K.; YAMASHITA, M.; IHARA, M.; LIDA, A. STAT3 inhibitory activity of naphthoquinones isolated from *Tabebuia avellanedae*. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 28, n. 6, p. 115347, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed 858p. 2017.

ZAR, J.H. Biostatistical Analysis. 5th. Edn. **Pearson Prentice-Hall**. Upper Saddle River, NJ. 2010. 944 p.

ARTIGO II

**MARCADOR OBJETIVO PARA DETERMINAR A MATURIDADE
FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau**

RESUMO

O ponto de maturidade fisiológica de sementes com frutos deiscentes pode ser determinado a campo por marcadores objetivos formados durante a maturação, como a cor. A identificação desse índice permite a obtenção de sementes com elevada germinação e vigor. Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar um marcador objetivo capaz de indicar a maturidade fisiológica e caracterizar as mudanças físicas, fisiológicas e bioquímicas durante a maturação de sementes de *Tabebuia caraiba*. Os frutos de trinta matrizes selecionadas nas cidades de São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil, foram colhidos semanalmente, dos 14 aos 49 dias após a antese, sendo classificados quanto a cor. As sementes foram retiradas dos frutos e o teor de água, germinação e vigor (conteúdo de massa seca e massa fresca, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência, comprimento e massa de matéria seca da parte aérea e da raiz das plântulas), composição química (teores de proteínas, lipídios, amido, açúcares redutores e cinzas) e atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase das sementes foram determinados. A maturidade fisiológica de sementes de *T. caraiba* ocorre aos 42 dias após a antese, quando o fruto apresenta coloração verde-acinzentado e início de abertura da fenda. O aumento na concentração de proteínas, lipídios, amido ocorre até a fase final da maturação destas sementes. A redução na atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase pode ser um indicador para a determinação da maturidade de sementes de *T. caraiba*. A redução de 60% na atividade enzimática da superóxido dismutase e de 75% da catalase, em média, serve como indicador para a determinação da maturidade das sementes desta espécie.

Palavras-chave: caatinga; composição química; época de colheita; enzimas antioxidantes; maturação.

ABSTRACT

The physiological maturity point of seeds with dehiscent fruits can be determined in the field by objective markers formed during maturation, such as color. The identification of this index allows the production of seeds with high germination and vigor. This study was developed with the aim of determining an objective marker capable of indicating physiological maturity and characterizing the physical, physiological and biochemical changes during the maturation of *Tabebuia caraiba* seeds. The fruits of thirty matrices selected in the cities of São João do Cariri and Sumé, Paraíba, Brazil, were harvested weekly, from 14 to 49 days after anthesis, and classified according to color. The seeds were removed from the fruits and the water content, germination and vigor (dry mass and fresh mass content, first germination count, germination speed index, emergence, emergence speed index, length and dry matter mass of the shoot and root of the seedlings), chemical composition (protein, lipid, starch, reducing sugars and ash contents) and activity of the enzymes superoxide dismutase, catalase and peroxidase of the seeds were determined. The physiological maturity of *T. caraiba* seeds occurs 42 days after anthesis, when the fruit presents a grayish-green coloration and the beginning of the opening of the slit. The increase in the concentration of proteins, lipids and starch occurs until the final stage of maturation of these seeds. The reduction in the activity of the enzymes superoxide dismutase and catalase can be an indicator for determining the maturity of *T. caraiba* seeds. The 60% reduction in the enzymatic activity of superoxide dismutase and 75% of catalase, on average, serves as an indicator for determining the maturity of the seeds of this species.

Keywords: antioxidant enzymes; caatinga; chemical composition; harvest season; maturity.

3.1 Introdução

A *Tabebuia caraiba* é uma espécie pertencente à família botânica Bignoniaceae, e pode atingir entre 5 - 20 m de altura e 60 - 100 cm de diâmetro (PINTO et al., 2017). A madeira dessa árvore possui alto valor energético, sendo amplamente utilizada como combustível na Caatinga, Cerrado e Pantanal. Por essa razão há elevada pressão antrópica sobre a *T. caraiba*, aumentando os riscos de extinção evidenciando a necessidade de estratégias de recomposição de áreas com essa espécie (SÁ et al., 2013; SILVA et al., 2019).

Os frutos da *T. caraiba* são deiscentes e, devido às alas presentes nas sementes, ao final da maturação e abertura do fruto as sementes são dispersas pelo vento, expondo-as às condições climáticas que podem ser prejudiciais, reduzindo a disponibilidade de sementes com elevada germinação e vigor em campo (SANTOS et al., 2019). Assim, estratégias para obter sementes antes da dispersão e com qualidade elevada são necessárias.

Marcadores objetivos para identificar o ponto de maturidade fisiológica podem auxiliar na determinação do ponto ideal de colheita, favorecendo a obtenção de sementes com valores de germinação e vigor elevados, anterior à deiscência dos frutos (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Durante a maturação de sementes ocorrem imbricadas alterações morfológicas, físicas e fisiológicas que se iniciam a partir da fecundação e formação do embrião até o desligamento da semente com a planta-mãe (BEWLEY e NONOGAKI, 2017). Esse processo é marcado por variações no grau de umidade, no vigor e acúmulo de massa seca após a fertilização até atingir a maturidade fisiológica, em que a semente expressa a máxima germinação, elevado vigor e potencial para formar plântulas normais (HEHENBERGER et al., 2012; MARCOS-FILHO, 2015). Caracterizar essas mudanças durante a maturação de sementes de *T. caraiba* a partir de diversas variáveis contribui para um manejo eficiente na obtenção de sementes em campo.

Variáveis como mudança na coloração do fruto e o acúmulo de massa seca são avaliadas para caracterizar mudanças ocorridas durante a maturação de sementes, auxiliando na identificação do ponto ideal de colheita em campo (DINIZ e NOVEMBRE, 2019). A mudança na coloração, a partir do amadurecimento do fruto, é resultado da degradação de cloroplastos presentes no epicarpo, com redução drástica do teor de clorofilas, processo iniciado à medida que a maturação das sementes é finalizada, com posterior ativação do programa de senescência, podendo ser um indicador de maturidade fisiológica (GILLASPY et al., 1993; ORO et al., 2012; GÓMEZ et al., 2014; TAIZ et al., 2017). O máximo acúmulo de massa seca é indicativo da qualidade da semente tendo em vista a

maior disponibilidade de reservas utilizadas para a continuidade dos processos metabólicos após o desligamento da planta-mãe, garantindo maior germinação e vigor (SILVA et al., 2018a). Contudo, indicadores precisos para as espécies florestais são escassos, sendo necessária uma associação de diferentes índices de maturação para auxiliar na melhor identificação da maturidade fisiológica dessas sementes (MATHEUS et al., 2011).

Análises laboratoriais e bioquímicas têm sido utilizadas em diversos trabalhos para comprovar a eficiência dos índices objetivos em campo. Os eventos bioquímicos que compreendem o processo de maturação de sementes podem propiciar a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ERO's), como radical superóxido (O_2^-) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que em níveis excessivos são altamente tóxicos para as células e causam danos celulares irreversíveis (NTULI et al., 2011). Para evitar danos, as sementes ativam um sistema antioxidante de defesa primária, caracterizado pela ação de enzimas como a superóxido dismutase, catalase e peroxidase (GILL e TUTEJA, 2010). Dessa forma, avaliar a atuação destas enzimas durante a formação da semente traz informações sobre o nível de atividade metabólica celular e, devido a isso, diversos autores têm verificado a relação destas enzimas com a maturação de sementes de diversas espécies (NAKADA et al., 2011; SILVA et al., 2017; SILVA et al., 2018a).

Desse modo, esse trabalho foi realizado com o objetivo de determinar um marcador objetivo capaz de indicar a maturidade fisiológica e caracterizar as mudanças físicas, fisiológicas e bioquímicas durante a maturação de sementes de *T. caraiba*.

3.2 Material e métodos

O estudo de campo foi conduzido nas cidades de São João do Cariri (07° 23' 27" S, 36° 31' 58" W) e Sumé (7° 40' 18" S, 36° 52' 54" W), ambas localizadas no estado da Paraíba, Brasil. Segundo a Köppen e Geiger (1928) a classificação do clima é BSh- semiárido quente, com chuvas de verão e, precipitação entre 300 a 600 mm/ano.

Em cada área foram selecionadas 30 matrizes de *Tabebuia caraiba* obedecendo a critérios de altura (no mínimo 10 m), diâmetro do caule e aparência fitossanitária. No momento da antese, as flores foram marcadas com fitas coloridas para acompanhamento do desenvolvimento dos frutos e sementes, sendo realizadas colheitas dos 14 aos 49 dias após a antese (DAA), em intervalos de 7 dias.

Os frutos colhidos foram encaminhados ao Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, *Campus II* (Areia, PB), e classificados visualmente quanto à cor de maior predominância no epicarpo com base na Cartela de cores de Munsell, caracterizando os estádios de maturação (MUNSELL, 1976).

Após o beneficiamento das sementes, para cada dia de coleta, foram realizadas as determinações do teor de água e as seguintes avaliações da germinação e vigor:

Teor de água: realizado com quatro repetições de 25 sementes por tratamento, pelo método da estufa a 105 ± 3 °C (base úmida), durante 24 horas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem.

Massa seca de sementes: determinada em oito repetições de 25 sementes com base no seu peso final após secagem a 105 ± 3 °C durante 24 horas, sendo os resultados expressos em gramas.

Massa fresca de sementes: determinada em oito repetições de 25 sementes, sendo pesadas em balança analítica de precisão, com resultados expressos em gramas.

Germinação: Quatro repetições de 25 sementes foram desinfestadas em álcool 70% durante 30 segundos e posteriormente imersas em solução de hipoclorito de sódio a 2% por um minuto. As sementes foram dispostas em rolos de papel germitest, acondicionados em sacos plásticos, permanecendo em BOD (Biochemical Oxygen Demand) à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. A avaliação final foi realizada aos 21 dias, de acordo com Brasil (2013).

Primeira contagem de germinação: contabilizou-se a porcentagem de plântulas normais obtidas no décimo dia após a semeadura (BRASIL, 2013); esta avaliação foi realizada em conjunto com o teste de germinação, considerando-se plântulas normais aquelas com todas as suas estruturas essenciais bem desenvolvidas, completas, proporcionais e sadias (BRASIL, 2009).

Índice de velocidade de germinação: determinado por meio de contagens diárias das sementes germinadas com posterior cálculo conforme equação proposta por Maguire (1962).

Emergência: quatro repetições de 25 sementes foram semeadas em bandejas plásticas preenchidas com areia lavada, regadas diariamente, permanecendo em casa de vegetação (27 °C/ 72%). A avaliação foi realizada aos 21 dias, contabilizando-se as plântulas emersas, sendo expressa em porcentagem.

Índice de velocidade de emergência: obtido por meio de contagens diárias das plântulas emersas no teste de emergência, com posterior cálculo conforme equação proposta por Maguire (1962).

Comprimento de parte aérea e raiz: verificado a partir da medição do comprimento da parte aérea e raiz das plântulas normais obtidas no teste de germinação, com auxílio de régua graduada, em centímetros.

Massa seca de parte aérea e raiz: determinada por meio do peso seco da parte aérea e sistema radicular das plântulas após secagem em estufa de ventilação forçada, a 65 °C, até atingi peso constante, sendo o resultado expresso em gramas.

Composição química

Proteínas: baseada na determinação de nitrogênio, pelo processo de digestão Kjeldahl, a porcentagem de proteínas da amostra foi obtida multiplicando-se a porcentagem de nitrogênio pelo fator de correção, com resultado expresso em mg.g^{-1} massa fresca (BRASIL, 2005).

Lipídios: extraídos de acordo com o método descrito por Bligh e Dyer (1959) e quantificados gravimetricamente após secagem em exsiccador a 24 ° C por 4 horas, com os resultados em porcentagem.

Amido: obtido a partir do método de titulometria de McCready et al. (1950), utilizando-se solução de hidróxido de sódio a 10% e ácido clorídrico a 50%, em pH 7, sendo o teor determinado por meio da titulação com soluções de Fehling.

Açúcares redutores: obtidos a partir de 0,5 g de sementes pelo método da antrona e expressos em g.100g^{-1} (CLEGG, 1956).

Cinzas: determinado por incineração de $3 \pm 0,5$ g da amostra em mufla a 550°C até obter massa constante, de acordo com a AOAC (1990), sendo os resultados expresso em g.100g^{-1} .

Atividade enzimática

Um extrato enzimático bruto foi preparado a partir das amostras. Para isso, quatro repetições de 10 sementes foram retiradas do terço médio do fruto e moídas em almofariz utilizando nitrogênio líquido, e retirada amostras de 300 mg da semente processada. Em seguida, foram homogeneizadas com 10 mL de solução tampão fosfato de potássio 100 mM, em pH 6,8, seguindo para centrifugação (4 °C a 12000 g por 30 minutos). O sobrenadante foi coletado e armazenado em tubo eppendorf e congelado a -20 °C até o momento da determinação da atividade enzimática, seguindo a metodologia proposta por Kar e Mishra (1976).

Superóxido dismutase: determinada pela adição de 50 μL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 μL de NBT, 100 nM de EDTA (ácido etileno-diamino tetra-acético) e 2 μM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,8. Após 5 minutos de incubação da solução, realizada pela iluminação em câmara de lâmpadas fluorescentes (15 W a 25 °C), o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz, seguindo para leitura em espectrofotômetro a 560 nm (GIANNOPO-LITIS e RIES, 1977). O cálculo da atividade específica da enzima considerou a porcentagem de inibição obtida entre o volume da amostra e a concentração de proteína na mesma ($\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$).

Catalase: determinada por medição em espectrofotômetro no comprimento de onda de 240 nm, por meio do monitoramento da variação da absorção de peróxido de hidrogênio, em intervalo de 80 segundos. Para isso, 50 μL do extrato bruto enzimático foi adicionado a um meio de reação constituído por 950 μL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0, suplementado com peróxido de hidrogênio a uma concentração final de 12,5 mM., utilizando-se coeficiente de extinção molar igual a 39,4 $\text{mM}\cdot\text{cm}^{-1}$, conforme Peixoto et al. (1999). A atividade específica da catalase levou em consideração a concentração de proteína solúvel no teste.

Peroxidase: determinada seguindo o método descrito por Teisseire e Guy (2000). O sistema de reação foi composto por 30 μL de extrato enzimático diluído, tampão fosfato de potássio 50 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 6,5 e pirogalol (1,2,3-benzenotriol) 20 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 5 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, com tempo de reação de 5 minutos a 25°C. A atividade específica da peroxidase foi expressa em μmol de purpurogalina $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína.

Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 2 x 6 (cidades de colheita e dias após a antese), com quatro repetições.

3.3 Resultados e discussão

O teor de água, massa seca e fresca das sementes, germinação, primeira contagem de germinação, índice da velocidade de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência e comprimento de raiz não diferiram entre as cidades avaliadas (Tabela 1). A interação entre os locais de colheita e os dias após a antese (DAA) ocorreu para o comprimento da parte aérea, massa de matéria seca da raiz, proteína, lipídios, amido, açúcares

reduzindo a atividade da catalase e peroxidase. A massa de matéria seca da parte aérea e atividade da enzima superóxido dismutase foram influenciadas pelos fatores cidade e DAA, de forma individual. No entanto, para o teor de cinzas não houve diferença significativa.

Tabela 1 – Análise de variância para as variáveis de desenvolvimento de sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas no período de 14 a 49 dias após a antese (DAA), nas condições do Cariri paraibano.

		Variáveis/ Quadrados médios									
FV	GL	TA	MSS	MFS	G	PCG	IVG	E	IVE	CPA	CR
LC	1	31,4 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,43 ^{ns}	2,00 ^{ns}	12,50 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,45**	0,42 ^{ns}
DAA	5	6,35**	10,7**	45,9**	3377,33**	16429,8**	306,7**	7037,8**	6,17**	2,35**	16,69**
LC XDAA	5	28,9 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,51 ^{ns}	8,66 ^{ns}	12,5 ^{ns}	1,79 ^{ns}	41,83 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,49**	3,16 ^{ns}
Bloco	3	9,32	0,04	0,02	17,33	16,50	0,26	48,50	0,07	0,03	2,00
Erro	33	10,9	0,17	0,62	21,66	9,50	0,57	23,16	13,43	0,067	1,38
Total	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV(%)		5,71	24,26	19,58	5,32	4,17	7,29	6,74	16,1	11,62	8,47

		Variáveis/ Quadrados médios									
FV	GL	MSPA	MSR	PROT	LIP	AMID	AR	CIN	SOD	CAT	POX
LC	1	0,43**	0,01**	174**	0,00**	2,68**	1,70**	0,07 ^{ns}	50,294**	123,877**	7,64**
DAA	5	3,49**	0,18**	218,34**	14,24**	73,86**	2,53**	0,06 ^{ns}	146,197**	201,627**	46,67**
LC XDAA	5	0,05 ^{ns}	0,00**	8,44**	0,55**	0,32**	0,83**	0,71 ^{ns}	1,914 ^{ns}	11,462**	1,22**
Bloco	3	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	1,604	227,9	0,21
Erro	33	0,01	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,02	2,428	104,06	0,17
Total	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV(%)		8,9	7,2	3,7	0,8	0,9	0,3	6,0	15,0	3,8	8,4

^{ns}Não significativo e ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade de erro pelo teste F. LC = local de colheita, DAA= dias após a antese, TA= teor de água, MSS= massa seca da semente, MFS= massa fresca da semente, PCG= primeira contagem de germinação, G= germinação, IVG= índice de velocidade de germinação, E= emergência, IVE= índice de velocidade de emergência, CPA= comprimento da parte aérea, CR= comprimento da raiz, MSPA= massa de matéria seca da parte aérea, MSR= massa de matéria seca da raiz PROT= proteínas totais, LIP= lipídios, AMID= amido, AR= açúcares redutores, CIN= cinzas, SOD= superóxido dismutase, CAT= catalase, e POX= peroxidase.

As alterações na coloração do epicarpo dos frutos evidenciam as mudanças ocorridas durante a maturação das sementes de *T. caraiba*, indicando a possibilidade do uso desse índice na identificação da maturidade fisiológica das sementes em campo. A coloração do epicarpo dos frutos era preto-esverdeado aos 14 DAA, passando à verde-escura aos 21 DAA. Na colheita realizada aos 28 DAA, os frutos estavam completamente verdes,

alterando para verde-clara aos 35 DAA. Frutos colhidos aos 42 DAA (coloração verde-acinzentada) tinham manchas acinzentadas, com posterior evolução para a abertura e secagem dos mesmos na cor cinza no momento da colheita aos 49 DAA (Figura 1).

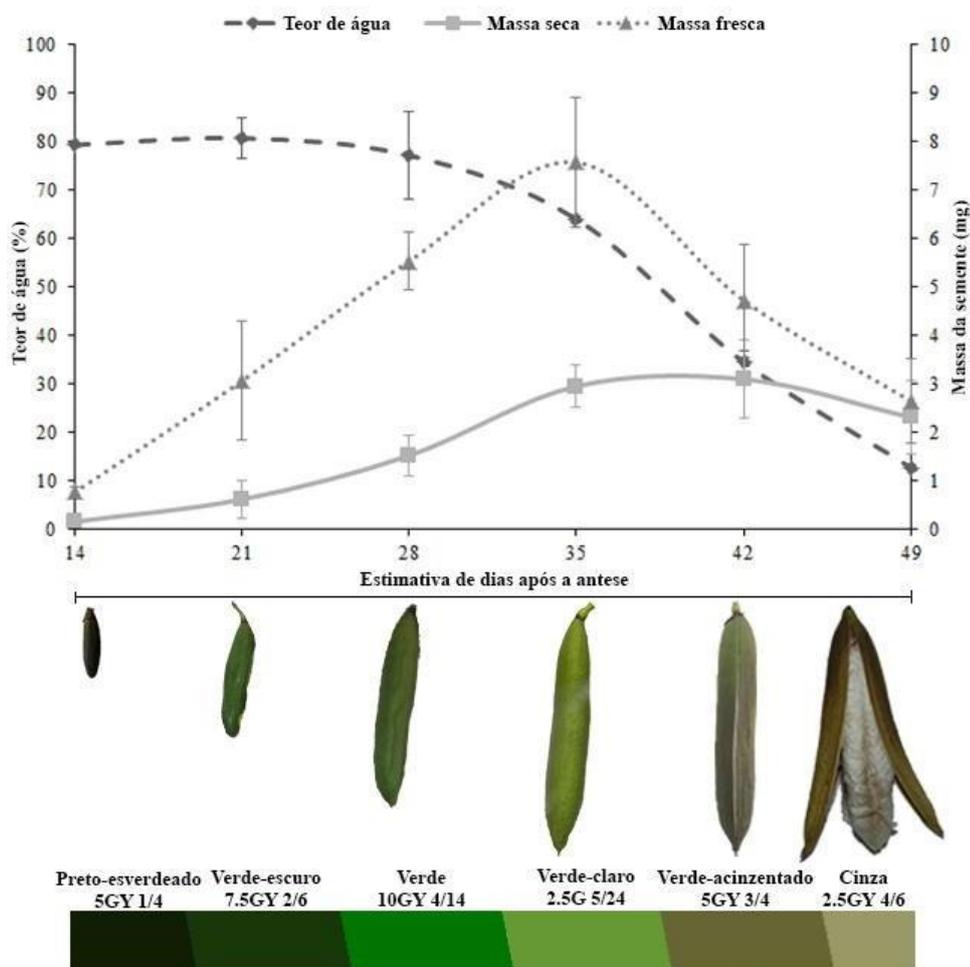


Figura 1 – Valores médios para teor de água, massa seca e massa fresca das sementes, e coloração do epicarpo de frutos de *Tabebuia caraiba*, colhidos dos 14 a 49 dias após a antese (DAA) no Cariri paraibano.

O amadurecimento e a senescência são processos fortemente correlacionados, com expressão de diversos genes envolvidos na maturação dos frutos (GAPPER et al., 2013; MIZZOTTI et al., 2018). O aumento da transcrição de genes associados à biossíntese do etileno durante a maturação, precedida de um acúmulo de ácido abscísico, é início de uma reação em cascata que engloba catabolismo de macromoléculas, armazenamento de proteínas em sementes e degradação de cloroplastos (KANNO et al., 2010; KOU et al., 2012; JARADAT et al., 2014). É durante a degradação de cloroplastos do epicarpo

que há a quebra das clorofilas, pigmentos acessórios da fotossíntese, que absorvem e emitem a luz em comprimentos de onda específicos e que são percebidos como cores, resultando na mudança de cor dos frutos (TAIZ et al., 2017).

Para espécies florestais da Caatinga, a mudança gradativa na coloração é considerada um indicativo prático para o momento ideal da colheita dos frutos e das sementes em campo (LEITE et al., 2019; SANTOS et al., 2019). Ressalta-se, entretanto, que em algumas espécies, a mudança na cor do epicarpo não acompanha as mudanças nos estádios de maturação das sementes, a exemplo de frutos de *Peltophorum dubium* Sprengel., que mesmo classificados como castanho-claros indicaram dois estádios de maturação diferentes, com variações na germinação e vigor, chegando a diferenças de mais de 30% nas sementes germinadas (MULLER et al., 2016). Assim, a definição da eficiência desse índice para uma determinada espécie deve ser realizada correlacionando-o aos resultados de testes realizados em condições de laboratório (SILVA et al., 2018a).

O teor de água das sementes permaneceu em torno de 75% até os 28 DAA, onde iniciou uma redução. As mudanças observadas no teor de água das sementes de *T. caraiba* são características inerentes ao desenvolvimento e maturação da espécie, sendo observado que até os 35 DAA, as sementes possuíam um teor de água de 70% (Figura 1). Os elevados teores de água nos estádios iniciais de desenvolvimento são imprescindíveis para que os processos metabólicos ocorram de forma eficiente, pois eventos como a formação dos diferentes tecidos dentro do embrião e das estruturas circundantes, os quais são caracterizados por uma extensa divisão celular do óvulo, seguido de elevada expansão celular, são extremamente dependentes de água (BEWLEY e NONOGAKI, 2017).

A redução do teor de água ocorreu em taxas mais elevadas a partir dos 35 DAA, sendo caracterizada com 13,5% aos 49 DAA (figura 1). A perda de água, também chamada de dessecação, ocorre com o objetivo de parar os eventos de desenvolvimento para que estas sementes se tornem aptas a germinar após a dispersão (VERTUCCI e FARRANT, 2017). Algumas espécies decrescem o teor de água de forma tão acentuada que chegam a níveis de 6% ainda em campo, resultado da deiscência do fruto e exposição direta da semente às condições climáticas (LEITE et al., 2019). No entanto, para a maioria das sementes ortodoxas o teor de água se mantém entre 12 e 15% ao final do processo de maturação (MARCOS-FILHO, 2015).

A massa seca das sementes aumentou durante o processo de maturação até os 42 DAA, onde o maior valor encontrado foi de 3,07 mg. Já a massa fresca aumentou até os 35 DAA, alcançando 7,21 mg, em seguida decrescendo para 2,52 mg aos 49 DAA (Figura

1). O aumento da massa seca das sementes é resultado da deposição de reservas na forma de carboidratos, óleos e proteínas nos cotilédones das mesmas. Devido ao processo de histodiferenciação no início da formação da semente, ainda com elevado teor de água, a maior deposição de matéria seca só ocorre após os 21 DAA, resultando em aumento de massa fresca e seca (BEWLEY e NONOGAKI, 2017).

A deposição das reservas é necessária para que, no momento da germinação, a semente possa utilizá-las como fonte de energia. Vários autores definem a matéria seca como indicador de maturidade fisiológica (MULLER et al., 2016; FRANCISCO et al., 2019; LEITE et al., 2019). Nas condições deste experimento, aos 42 DAA as sementes conseguiram maior deposição de reservas, podendo caracterizar um período de alcance da maturidade fisiológica. A moderada redução na massa seca das sementes a partir deste ponto é resultado da dessecação aliada ao processo respiratório da semente. Comportamento semelhante também foi relatado para outras espécies nativas da Caatinga, a exemplo de *P. dubium* e *Mimosa ophthalmocentra* Mart. Ex Benth (MULLER et al., 2016; LEITE et al., 2019).

De maneira geral, as sementes atingem a maturidade fisiológica (máxima viabilidade e vigor), quando o teor de água ainda é elevado, onde a colheita nesse momento resultaria em deterioração subsequente e perda de longevidade, trazendo prejuízos à semente devido à elevada vulnerabilidade às pragas de armazenamento, como fungos e insetos (BEWLEY e NONOGAKI, 2017). Assim, testes de germinação e vigor são necessários para a confirmação do ponto de maturidade fisiológica e ponto ideal de colheita.

A germinação das sementes iniciou nas colhidas à partir dos 28 DAA, no entanto os reduzidos valores de germinação encontrados para sementes colhidas nesse período, abaixo de 60%, indicam que estas ainda não haviam atingido o ponto de maturidade fisiológica (Figura 2). Em estudo de maturação de sementes de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex. S. Moore, os autores identificaram que sementes colhidas de frutos de coloração verde-escura, também se encontravam imaturas, alcançando germinação de 35% (SANTOS et al., 2019).

Assim, a maturidade fisiológica de sementes de *T. caraiba* ocorre à medida que se aproxima dos 42 DAA, onde a germinação se mantém em níveis máximos (99%), até os últimos estádios de avaliação. Da mesma forma, nesse momento houve os maiores valores para primeira contagem de germinação, e índice de velocidade de germinação (com 100% e 14,5, respectivamente).

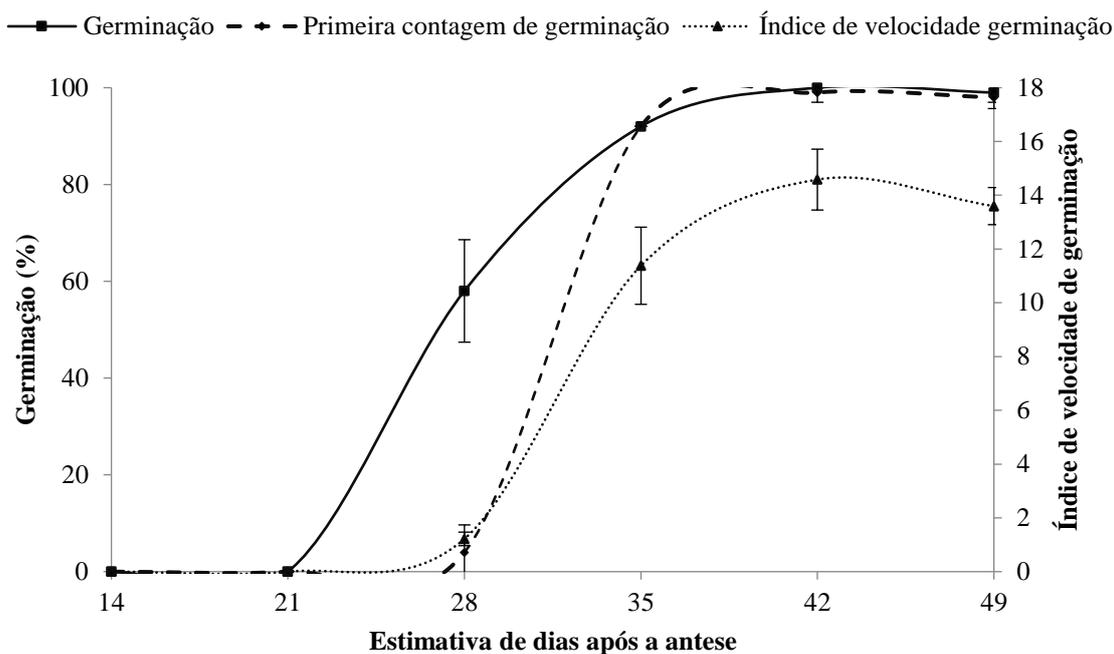


Figura 2 – Valores médios para germinação, primeira contagem de germinação, e índice de velocidade de germinação das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas dos 14 a 49 dias após a antese (DAA) no Cariri paraibano.

Esse resultado é de grande relevância para identificar o momento ideal de colheita em campo, tendo em vista que as sementes exibem altos valores de germinação no mesmo momento que inicia o aparecimento de manchas acinzentadas no epicarpo e há a abertura da fenda, sendo possível a colheita ainda com frutos fechados, evitando a perda de sementes por ocasião da deiscência e ação do vento.

Sementes de *P. dubium* colhidas em diferentes estádios de maturação tiveram incrementos em sua germinação para aquelas oriundas de frutos maduros. No entanto, próximo à deiscência dos frutos houve uma redução na germinação devido à impermeabilidade do tegumento, resultado da dormência adquirida na fase final da maturação (MULLER et al., 2016). De forma similar, sementes de *M. ophthalmocentra* e de *Anadenanthera colubrina* Vell. também tiveram seus valores de germinação em torno de 85% até a fase anterior à deiscência dos frutos e dispersão das sementes (PIRES NETO et al., 2016; LEITE et al., 2019).

É importante ressaltar que avaliar sementes com testes de vigor é fundamental para definir a eficiência durante o processo de maturação, já que o teste de germinação avalia a viabilidade em condições controladas (ORNELLAS et al., 2020). Observando a Figura 3 é possível observar que aos 49 DAA foi verificada a maior porcentagem de

emergência (91%), no entanto, o índice de velocidade de emergência foi máximo (2,21) em sementes colhidas aos 42 DAA.

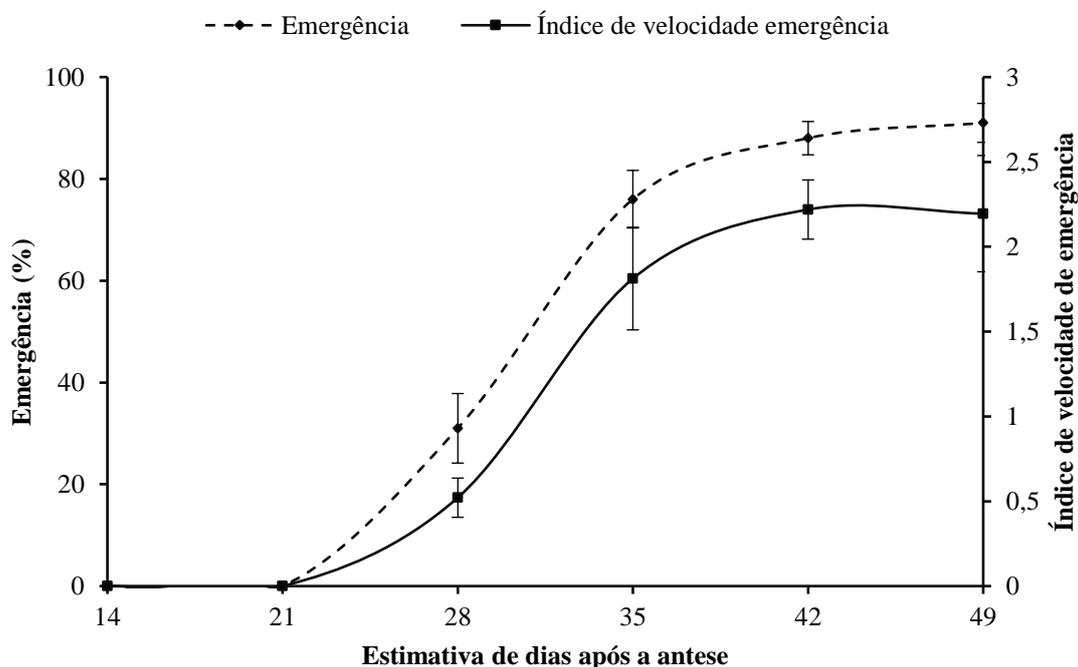


Figura 3 – Valores médios para emergência e índice de velocidade de emergência das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas dos 14 a 49 dias após a antese (DAA) no Cariri paraibano.

Dessa forma, as variáveis relacionadas ao crescimento das plântulas em ambiente sem controle (porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência), indicam que a velocidade em que as sementes germinam está diretamente relacionada ao processo de maturação das mesmas, reforçando uma maior qualidade naquelas colhidas a partir dos 42 DAA, indicando o maior vigor das sementes de frutos de coloração verde-acinzentado. O vigor de sementes de *Allophylus edulis* Camb., *Eugenia pyriformis* Camb. e *Campomanesia xanthocarpa* Berg., foi maior à medida que os dias durante a maturação aumentaram, ressaltando que, para essas espécies, as variáveis de vigor estão diretamente relacionadas ao acúmulo de matéria seca na semente (HERZOG et al., 2012; ORO et al., 2012; KAISER et al., 2016).

O crescimento das plântulas em condições de campo também avalia o vigor das sementes, tendo em vista que para o seu estabelecimento há dependência do fornecimento de nutrientes a partir da mobilização de reservas de armazenamento, localizadas principalmente nos cotilédones (MARCOS-FILHO, 2015).

Com relação ao comprimento e massa de matéria seca de plântulas (parte aérea e raiz, Figura 4 A-D), observa-se que sementes colhidas nos estádios finais (42 e 49 DAA) proporcionaram a formação de plântulas mais vigorosas. O comprimento da parte aérea das plântulas oriundas de sementes de *T. caraiba* colhidas em São João do Cariri e Sumé foram maiores aos 49 e 42 DAA, com 5,22 cm e 4,49 cm, respectivamente (Figura 4-A).

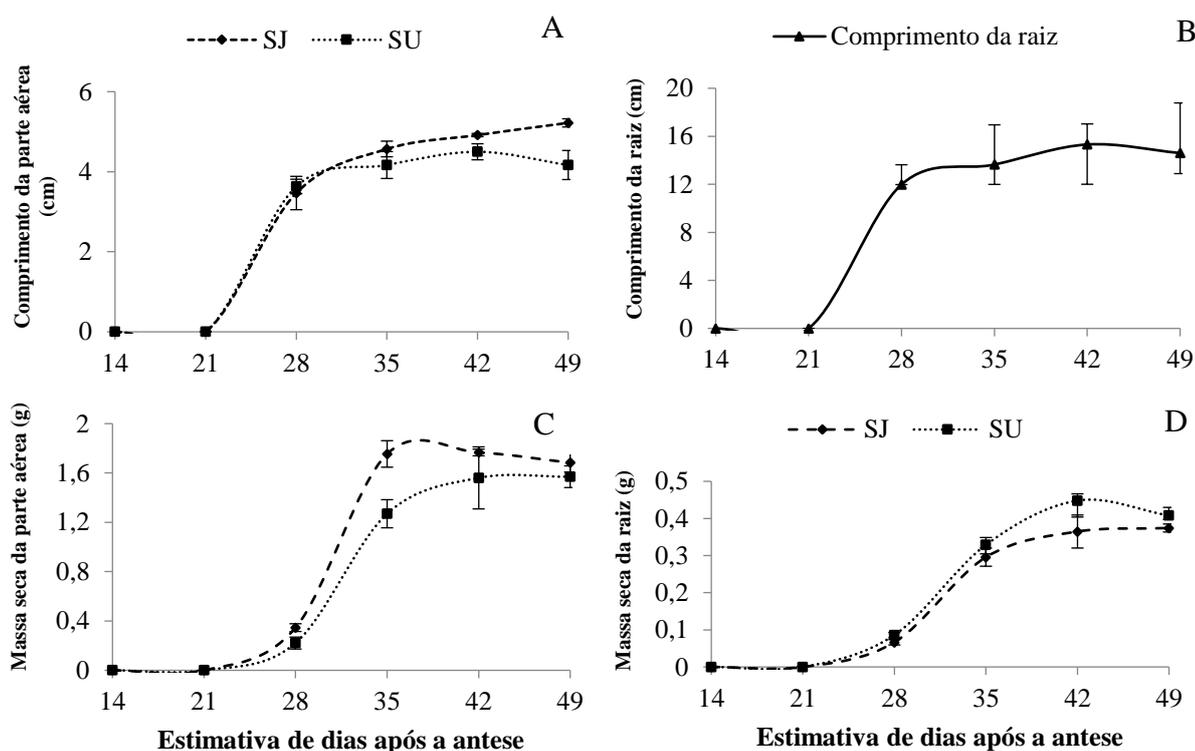


Figura 4 - Comprimento de parte aérea (A), Comprimento de raiz (B), Massa de matéria seca da parte aérea (C) e Massa de matéria seca da raiz (D) de plântulas advindas das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas dos 14 a 49 dias após a antese (DAA) no Cariri paraibano.

O comprimento da raiz das plântulas foi maior aos 42 DAA (15,31 cm), independente da procedência das sementes (Figura 4-B). Na avaliação do vigor por meio do acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea e raiz das plântulas geradas (Figuras 4 C-D), foi observado que os maiores valores para a parte aérea ocorreram aos 42 DAA para as sementes provenientes de São João do Cariri (1,76 g), e aos 49 DAA para aquelas colhidas em Sumé (1,56 g). Na avaliação da matéria seca da parte radicular o contrário foi observado, onde as sementes oriundas de São João do Cariri geraram maiores valores aos 49 DAA (0,37 g), e as colhidas em Sumé produziram maior massa seca aos 42 DAA

(0,44 g).

Diferenças entre as sementes quanto aos locais de coleta foram observadas quando avaliado o comprimento da parte aérea, e a massa de matéria seca da parte aérea e da raiz das plântulas resultantes. No entanto, é necessário destacar que, independente da cidade de colheita, plântulas com maiores comprimentos e quantidade de matéria seca foram observadas a partir dos 42 DAA. Ressalta-se que estas plântulas são mais vigorosas pois possuem maiores chances de sucesso em campo, com vantagens na competição por água, luz e nutrientes (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

No tocante à composição química das sementes, ao longo dos estádios de maturação, foi possível identificar o acúmulo crescente de proteínas, lipídios, amido e açúcares redutores à medida que os DAA foram avançando, exceto para lipídios e amido (Figura 5 A-D). As diferenças nos teores de amido e açúcares redutores entre as cidades é resultado do controle genético das matrizes locais. Destaca-se que a deposição dos constituintes ocorreu sem variações negativas durante o processo de maturação, o que indica a maior possibilidade da obtenção de sementes vigorosas e com elevado potencial de conservação (MARCOS-FILHO, 2015).

O teor de proteínas totais das sementes aos 14 DAA foi caracterizado com valores próximos entre as cidades de São João do Cariri (3,86 mg.g⁻¹ massa fresca) e Sumé (3,29 mg.g⁻¹ massa fresca), no entanto, à medida que o processo de maturação evoluiu, maiores valores (20,06 mg.g⁻¹ massa fresca) foram verificados nas sementes provindas de São João do Cariri aos 49 DAA, ao passo que as de Sumé alcançaram 13,92 mg.g⁻¹ massa fresca, no mesmo período (Figura 5-A).

No município de São João do Cariri o solo da área de estudo foi caracterizado como Planossolo, com elevada fertilidade natural, garantindo uma nutrição eficiente para a alocação de proteínas nas sementes durante o seu desenvolvimento (MORAIS et al., 2014). A diversidade da composição elementar do solo e do fornecimento de nutrientes afetam a composição elementar de um organismo vivo e seu estado fisiológico podendo, inclusive, conduzir a adaptação genética de espécies a ambientes específicos (GRIME e PIERCE, 2012; NEUMANN e RÖMHELD, 2012).

Esse resultado pode explicar a diferença visualizada no comprimento da parte aérea das plântulas oriundas destas sementes, tendo em vista a relação entre essas duas variáveis, já que além de ser fonte de carbono armazenado, desempenhando função estrutural, as proteínas também contêm nitrogênio e enxofre e, a sua deposição durante a maturação estabelece relação direta com o sucesso da plântula após o início da

germinação, sendo estes nutrientes fontes de energia para a fase em que a plântula ainda não possui todo o aparato fotossintético formado (SINGHA et al., 2019; MARCOS-FILHO, 2015).

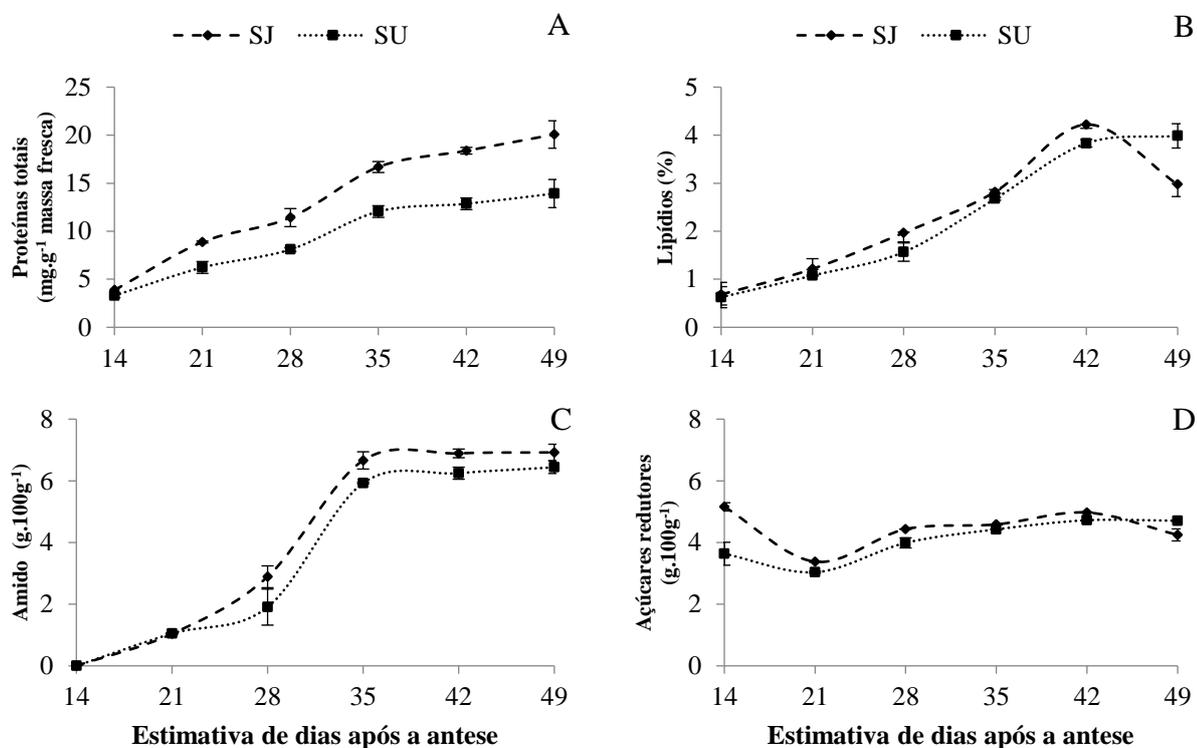


Figura 5 – Composição química das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas no período de 14 a 49 dias após a antese (DAA), nas condições do Cariri paraibano (São João do Cariri (SJ) e Sumé (SU)); A: proteínas totais, B: lipídios, C: açúcares redutores, e D: amido.

O acúmulo de proteínas pode ser correlacionado com a deposição da massa seca na semente durante a maturação, tendo seus maiores valores naquelas colhidas nos estádios finais da maturação. Em estudo com sementes de *T. aurea*, evidenciou-se que o teor de proteínas não diferiu em sementes de diferentes estádios de maturação (SANTOS et al., 2019). No entanto, nesse mesmo estudo, os estádios de maturação avaliados levaram em consideração somente a coloração dos frutos, sem marcação das flores em campo.

Quanto ao teor de lipídios, sementes colhidas em São João do Cariri tiveram maior acúmulo já aos 42 DAA (4,22 %), diferente das colhidas em Sumé, onde o maior valor (3,98 %) foi verificado aos 49 DAA (Figura 5-B). O aumento no teor de lipídios com o decorrer da maturação das sementes de *T. caraiba* é também indicativo de melhor

qualidade. Os lipídeos de reserva são, em sua maioria, triacilgliceróis, formados a partir da esterificação de três ácidos graxos a um glicerol. Além destes, outras classes, como os fosfolipídeos, possuem função estrutural, participando da composição das membranas celulares (RODWELL et al., 2018). Seu acúmulo à medida que as sementes estão em processo de maturação é de grande relevância para a qualidade das sementes, pois, durante a germinação, são considerados fontes de energia mais eficientes quando comparados aos carboidratos (MARCOS-FILHO, 2015).

Outras espécies florestais demonstram comportamento similar, a exemplo de *T. aurea* e *Pongamia pinnata* L., com um maior conteúdo de lipídios presente nas sementes ao final da maturação (SANTOS et al., 2019; PAVITHRA et al., 2014).

A deposição de amido também tem influência na qualidade das sementes. Trata-se de um polímero de glicose, tendo a sacarose transportada da planta mãe como base para a sua síntese durante o desenvolvimento da semente (BEWLEY e NONOGAKI, 2017). O conteúdo de amido triplicou dos 28 DAA para os 42 DAA, independente da cidade de colheita (Figura 5-C). A partir dos 35 DAA a mudança na taxa de acúmulo é diminuída, com valores similares entre os 42 e os 49 DAA, tanto para as sementes colhidas em São João do Cariri (6,92 g.100g⁻¹), quanto para as colhidas em Sumé (6,43 g.100g⁻¹).

O teor de açúcares redutores foi maior aos 42 DAA, tanto para sementes provenientes de São João do Cariri, quanto para aquelas colhidas em Sumé, com 4,97 e 4,72 g.100g⁻¹, respectivamente (Figura 5-D). A deposição de açúcares durante o processo de maturação é resultado do metabolismo ativo das sementes até o estágio maduro (MAZLAN et al., 2018). O avanço da maturação pode resultar em maior concentração de monossacarídeos devido à possibilidade de substituírem a água ligada a macromoléculas, auxiliando na manutenção das ligações de hidrogênio e preservando a estrutura das proteínas durante a dessecação (PUKACKA et al., 2009).

Autores relacionam a avaliação desta característica em maior medida pelo papel da sacarose, e a liberação da glicose através da hidrólise, bem como sua ação energética durante a germinação de sementes (PAVITHRA et al., 2014; MARCOS-FILHO, 2015). No entanto, é importante destacar que a rafinose, juntamente com outros oligossacarídeos, desempenham papel relevante na estabilidade das membranas celulares conferindo proteção às sementes durante a dessecação (TAIZ et al., 2017).

Em relação às alterações bioquímicas, devido à geração de ERO's e radicais livres durante o desenvolvimento e a maturação de sementes, genes relacionados à defesa

antioxidante são regulados positivamente, e antioxidantes, como as enzimas, contribuem para combater os danos oxidativos (NAKADA et al., 2011). Destaca-se que a atuação das enzimas antioxidantes é um espelho do nível da atividade metabólica celular. Isso porque a geração de energia através da cadeia transportadora de elétrons é necessária para que os eventos metabólicos de anabolismo e/ou catabolismo ocorram com eficiência e, devido ao processo de redução do oxigênio, formam as ERO's, substratos para ação das enzimas (TAIZ et al., 2017; BARBEDO et al., 2018). Nas sementes colhidas em Sumé foi observada maior atividade da superóxido dismutase (SOD), enquanto as colhidas em São João do Cariri se destacaram em relação às enzimas catalase (CAT) e peroxidase (POX) (Figura 6 A-C).

A maior atividade da SOD foi verificada aos 14 DAA nas sementes de *T. caraiba*, independente dos locais de colheita, com redução acentuada até os 35 DAA, decrescendo de forma moderada a partir desse ponto e alcançando aos 49 DAA 221,5 e 155,5 unidade. mg^{-1} de proteína para as sementes oriundas das cidades de Sumé e São João do Cariri, respectivamente (Figura 6-A). Para algumas espécies, a maior atividade da enzima SOD é verificada no início e no final do processo de maturação das sementes. Na fase inicial, devido a intensa atividade metabólica e respiratória e, durante a maturação e a secagem quando as sementes podem sofrer danos pelo acúmulo de ERO's (MARTINS et al., 2012; SILVA et al., 2018a).

Com relação à atividade enzimática da CAT (Figura 6-B), elevada atividade foi observada aos 14 DAA para sementes provenientes de São João do Cariri (648,3 unidades mg^{-1} proteína) e de Sumé (424,2 unidades mg^{-1} proteína). A redução da atividade dessa enzima ocorreu de forma intensa até os 35 DAA, sobretudo nas sementes colhidas em São João do Cariri, que ao final do processo de maturação (49 DAA), exibiram atividade de 92,8 unidades mg^{-1} proteína, valor próximo daquelas colhidas em Sumé (106 unidades mg^{-1} proteína).

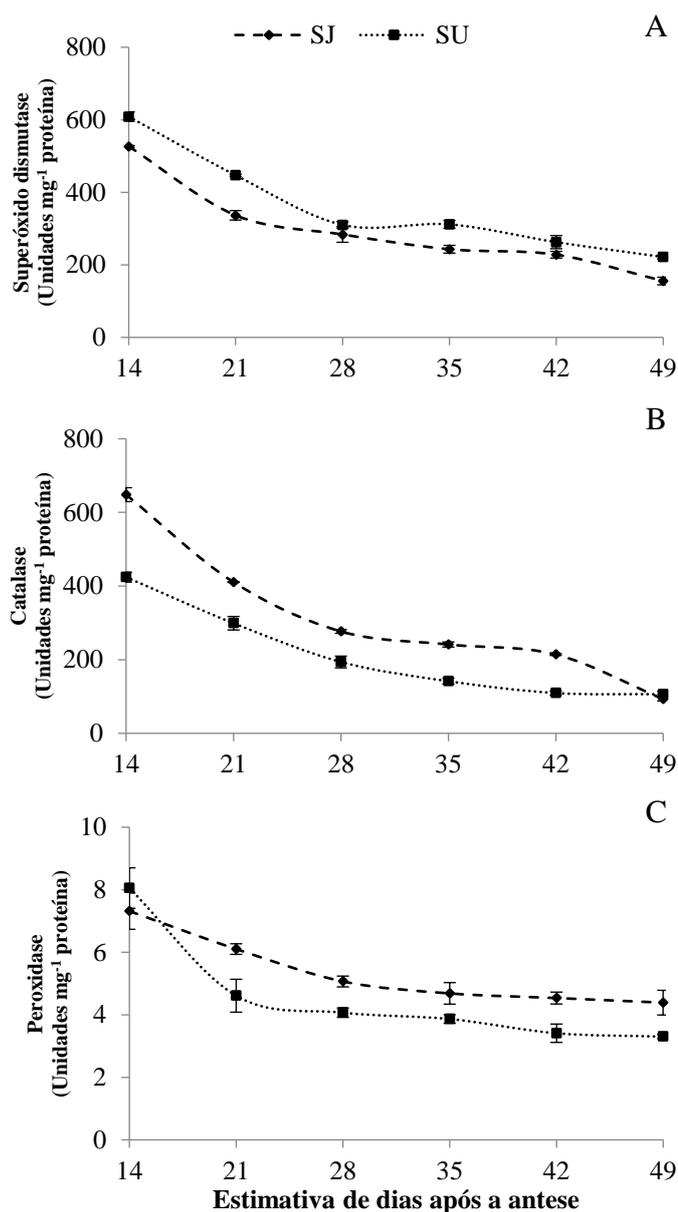


Figura 6 - Atividade enzimática da Superóxido dismutase (A), Catalase (B) e Peroxidase (C) das sementes de *Tabebuia caraiba*, colhidas dos 14 a 49 dias após a antese (DAA), no Cariri paraibano (São João do Cariri (SJ) e Sumé (SU)).

A maior atividade das enzimas SOD e CAT nos estádios iniciais de maturação indica que a formação de radicais livres nas sementes de *T. caraiba* é mais intensa em sementes imaturas e, portanto, há maior atividade metabólica pois é neste momento que também há maior diferenciação e crescimento de tecidos, assim como a síntese de biomoléculas (ARAÚJO et al., 2018). Nas sementes de *T. caraiba* essa relação fica evidenciada na acumulação ascendente de proteínas, lipídeos e carboidratos durante a maturação, conforme figura 5.

A enzima SOD é considerada a primeira linha de defesa contra o estresse oxidativo, agindo simultaneamente na oxidação e redução do ânion superóxido (O_2^-) para produzir peróxido de hidrogênio e oxigênio ($H_2O_2 + O_2$) (TAIZ et al., 2017). O comportamento da CAT é semelhante ao da SOD, podendo-se relacionar a atividade dessas duas enzimas. Alguns trabalhos evidenciam que a maior atividade da SOD aumenta o conteúdo de H_2O_2 nas células, sendo isso prejudicial às sementes quando em elevadas concentrações, necessitando, assim, do aumento da atividade de outras enzimas do complexo oxidativo, a exemplo da CAT, responsável pela eliminação dessa ERO (NAKADA et al., 2011; SILVA et al., 2017; SILVA et al., 2018a).

Assim, a elevada redução da atividade dessas enzimas aos 35 DAA é reflexo de ajustes bioquímicos que culminam com a maturidade fisiológica, aos 42 DAA, momento em que a atividade enzimática permanece em níveis baixos e constantes. Da mesma forma, em sementes de abóbora, verificou-se que a atividade dessas enzimas é inversamente proporcional à maturação das sementes (SILVA et al., 2017).

A atividade da enzima POX também foi maior nos primeiros dias de colheita das sementes, mantendo uma redução moderada, alcançando aos 49 DAA, 4,38 e 3,30 unidades. mg^{-1} proteína, nas sementes oriundas das cidades de São João do Cariri e Sumé, respectivamente (Figura 6-C). Em comparação com a CAT, a enzima POX está amplamente distribuída nos compartimentos celulares, sendo associada às paredes e membranas celulares, organelas, vacúolos e citosol, permitindo maior mobilidade onde sua ação é necessária (GILL e TUTEJA, 2010). Essa enzima atua como mecanismo de defesa e prevenção da perda de qualidade, principalmente devido à oxidação causada por ERO's, a exemplo de fenóis e alguns íons inorgânicos (SILVA et al., 2018). Na maturação de sementes de *T. caraiba* não foram verificadas grandes mudanças na atividade de POX e esse comportamento pode ser resultado da ação eficiente das enzimas SOD e CAT na eliminação das ERO's. O processo de reparação celular e o combate às ERO's são resultados de uma reação bioquímica em cascata, com sinalizações específicas e sequências definidas de ativação de enzimas envolvidas, com implicação em maior ou menor atividade para determinadas enzimas a partir dos substratos presentes nas células (TAIZ et al., 2017).

3.4 Conclusões

A coleta de frutos de *Tabebuia caraiba* deve ser realizada quando os mesmos apresentarem coloração verde-acinzentado e início de abertura da fenda.

A maturidade fisiológica das sementes desta espécie é alcançada aos 42 dias após a antese, momento em que o máximo de germinação e vigor (índice de velocidade de germinação, emergência, comprimento de raiz e massa de matéria seca da raiz e parte aérea) foram encontrados.

O aumento na concentração de proteínas, lipídios, amido ocorre até a fase final do processo de maturação das sementes de *T. caraiba*.

A redução de 60% na atividade enzimática da superóxido dismutase e de 75% da catalase, em média, serve como indicador para a determinação da maturidade das sementes desta espécie.

REFERÊNCIAS

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1990). **Official methods of analysis**. 15.ed. Washington, D.C. 1298p.

ARAÚJO, R.F.; ABUD, H.F.; SILVA, L.J.D.; ARAUJO, E.F.; PINTO, C.M.F.; SILVA, F.W.S. Alterações fisiológicas e atividade de enzimas antioxidantes em sementes de pimentas *Capsicum chinense* Jacq e *Capsicum frutescens* L. durante o processo de maturação. **Revista Ceres**, v. 65, n. 6, p. 534-545, 2018.

BARBEDO, C.J.; SILVA, J.P.N.; FRANÇOSO, C.F.; PARISI, J.J.D. (2018) **Armazenamento de sementes**. In: BARBEDO, C.J.; SANTOS-JUNIOR, N.A. (eds.). Sementes do Brasil: produção e tecnologia para espécies da flora brasileira. Instituto de Botânica/SMA, São Paulo, pp. 81-108.

BEWLEY, J.D.; NONOGAKI, H. Seed maturation and germination. **Reference Module in Life Sciences**, p. 623– 626, 2017.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1959.

Brasil, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. 4ª ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 640 p.

Brasil, Instruções para análise de sementes de espécies florestais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2013. 98p.

Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 365p. http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivospublicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. (2012). **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Jaboticabal: FUNEP. 588p.

CLEGG, K.M. The application of the anthrone reagent to the estimation of starch in cereals. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 7, n. 23, p. 40 - 44, 1956.

DINIZ, F.O.; NOVENBRE, A.D.D.L.C. Maturação das sementes de *Physalis peruviana* L. em função do florescimento e da idade dos frutos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 50, n. 3, p. 447 - 457, 2019.

FRANCISCO, F.; PEREIRA, G.P.; CARVALHO, R.I.N.D.; NEGRELLE, R.R.B. Maturation, processing and seed storage of *Elephantopus mollis* Kunth. **Acta Scientiarum Agronom**, v. 41, n. e42628, 2019.

GAPPER, N.E.; MCQUINN, R.P.; GIOVANNONI, J.J. Molecular and genetic regulation of fruit ripening. **Plant molecular biology**, v. 82, p. 575 - 591, 2013.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide Dismutases. **Plant physiology**, v. 59. p. 309 - 314, 1977.

GILL, S.S.; TUJETA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 48, p. 909 -930, 2010.

GILLASPY, G.; BEN-DAVID, H.; GRUISSEM, W.; DARWIN, C. Fruits: A Developmental Perspective. *Plant cell*, v. 5, p. 1439 - 1451, 1993.

GÓMEZ, M.D.; VERA-SIRERA, F.; PÉREZ-AMADOR, M.A. Molecular programme of senescence in dry and fleshy fruits. *Journal of experimental botany*, v. 65, p. 4515 - 4526, 2014.

GRIME, J.P.; PIERCE, S. (2012). **The evolutionary strategies that shape ecosystems**. Chichester: Wiley-Blackwell., 240p.

HEHENBERGER, E.; KRADOLFER, D.; KOLER, C. Endosperm cellularization defines an important developmental transition for embryo development. *Development*, v. 139, n. 11, p. 2031 - 2039, 2012.

HERZOG, N.F.M.; MATOS MALAVASI, M.; MALAVASI, U.C. Fruit morfometry and germination of *Campomanesia xanthocarpa* O. BERG seeds. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 4, p. 1359-1366, 2012.

JARADAT, M.R.; RUEGGER, M.; BOWLING, A.; BUTLER, H.; CUTLER, A.J. A comprehensive transcriptome analysis of silique development and dehiscence in *Arabidopsis* and *Brassica* integrating genotypic, interspecies and developmental comparisons. *GM crops & food*, v. 5, p.302 - 320, 2014.

KAISER, D.K.; MALAVASI, M.D.M.; MALAVASI, U.C.; DRANSKI, J.A.L.; FREITAS, L.C.N.D. Physiological maturity of seeds and colorimetry of the fruits of *Allophylus edulis* [(A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.]. *Journal of Seed Science*, v. 38, n. 2, p. 92 - 100, 2016.

KANNO, Y.; JIKUMARU, Y.; HANADA, A.; NAMBARA, E.; ABRAMS, S.R.; KAMIVA, Y.; SEO, M. Comprehensive hormone profiling in developing arabidopsis seeds: Examination of the site of ABA biosynthesis, ABA transport and hormone interactions. *Plant Cell Physiology*, v. 51, p. 1988 - 2001, 2010.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Physiologia Plantarum*, v. 57, p. 315 -319, 1976.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cm x 200cm, 1928

KOU, X.; WATKINS, C.B.; SU-SHENG, G. Arabidopsis AtNAP regulates fruit senescence. *Journal of experimental botany*, v. 63, p. 6139 - 6147, 2012.

LEITE, M.S.; NOGUEIRA, N.W.; FREITAS, R.M.O.; SOUSA LEITE, T.; GUIMARÃES, P.P. Maturação fisiológica e dormência em sementes de jurema-de-embira (*Mimosa ophthalmocentra*). **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, p. 645 - 650, 2019.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176 - 177, 1962.

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MARCOS-FILHO, J. (2015) **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 660p.

MARTINS, D.C.; VILELA, F.K.J.; GUIMARÃES, R.M.; GOMES, L.A.A, SILVA, P.A. Physiological maturity of eggplant seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 534 - 540, 2012.

MATHEUS, M.T. LOPES, J.C.; CORRÊA, N.B. Maturação fisiológica de sementes de *Erythrina variegata* L. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 619 - 627, 2011.

MAZLAN, O.; AIZAT, W.M.; BAHARUM, S.N.; AZIZAN, K.A.; NOOR, N.M. Metabolomics analysis of developing *Garcinia mangostana* seed reveals modulated levels of sugars, organic acids and phenylpropanoid compounds. **Scientia Horticulturae** v. 233, p. 323 - 330, 2018.

McCREADY, R.M.; GUGGOLZ, J.; SILVEIRA, V. OWENS, H.S. Determination of starch and amylose in vegetables. Application to peas. **Analytical Chemistry**, v. 22, p. 1156 - 1158, 1950.

MIZZOTTI, C.; ROTASPERTI, L.; MORETTO, M.; TADINNI, L.; RESENTINI, F.; GALLIANI, B.; GALBIATI, M.; ENGELEN, K.; PESARESI, P.; MASEIRO, S. Time-course transcriptome analysis of Arabidopsis siliques discloses genes essential for fruit development and maturation. **Plant physiology**, v. 178, p. 1249 - 1268, 2018.

MORAIS, L.G.B.D.L.; FRANCISCO, P.R.M.; DE MELO, J.A.B. Análise da cobertura vegetal das terras de região semiárida com o uso de geotecnologias. **Polêm!ca**, v. 13. n. 3, p.1345-1363, 2014.

MULLER, E.M.; GIBBERT, P.; BINOTTO, T.; KAISER, D.K.; BORTOLINI, M.F. Maturação e dormência em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. de diferentes árvores matrizes. **Iheringia Série Botânica**, v. 71, n. 3, p. 222 - 229, 2016.

MUNSELL, A.H. **Munsell book of color**. Macbeth. Division of Koll Margen Corporation. 1976.

NAKADA, P.G.; OLIVEIRA, J.A.; MELO, L.C.D.; GOMES, L.A.A.; VON PINHO, E. V.D.R. Desempenho fisiológico e bioquímico de sementes de pepino nos diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 113 - 122, 2011.

NEUMANN, G.; RÖMHELD, V.; (2012) **Rhizosphere chemistry in relation to plant nutrition**. In: P Marschner (ed) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd Edn. Academic Press, London, 368p.

NTUTI, T.M.; FINCH-SAVAGE, W.E.; BERJAK, P.; PAMMENTER, N.W. Increased drying rate lowers the critical water content for survival in embryonic axes of english oak (*Quercus robur* L.) Seeds F. **Journal of integrative plant biology**, v. 53, n. 4, p. 270 - 280, 2011.

ORNELLAS, F.L.S.; SOUSA, A.O.; PIROVANI, C.P.; NASCIMENTO ARAÚJO, M.; COSTA, D.S. et al. Gene expression, biochemical and physiological activities in evaluating melon seed vigor through ethanol release. **Scientia Horticulturae**, v. 261, 108884, 2020.

ORO, P.; SCHULZ, D.G.; VOLKWEIS, C.R.; BANDEIRA, K.B.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Maturação fisiológica de sementes de *Eugenia pyriformis* Cambess e *Eugenia involucrata* DC. **Biotemas**, v. 25, n. 3, 11-18, 2012.

PAVITHRA, H.R.; GOWDA, B.; SHIVANNA, M.B. Biochemical changes in the composition of developing seeds of *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. **Industrial Crops and Products**, v. 5, n. 49, p. 199 - 208, 2014.

PEIXOTO, H.P.P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIM, P.R.; MOREIRA, M.A. Aluminium effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 3, p. 137 - 143, 1999.

PINTO, J.R.S.; DOMBROSKI, J.L.D.; FREITAS, R.M.O. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook., sob sombreamento no semiárido. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 465 - 472, 2017.

PIRES, N.P.A.F.; PIRES, V.C.M.; MORAES, C.B.; OLIVEIRA, L.M.; PORTELLA, A.C.; et al. Physiological ripening of *Anadenanthera colubrina* (Vellozo) Brenan seeds. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 2, p. 155 - 161, 2016.

PUKACKA, S.; RATAJCZAK, E.; KALEMA, E. Non reducing sugar levels in beech (*Fagus sylvatica*) seeds as related to with standing desiccation and storage. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 1381 - 1390, 2009.

RODWELL, V. W.; BENDER, D.A.; BOTHAM, K.M.; KENNELLY, P.J.; WEIL, P.A. (2018). **Harper's illustrated biochemistry**. New York (NY): McGraw-Hill Education, 818p.

SÁ, F.V.S.; ARAÚJO, J.L.; NOVAES, M.C.; SILVA, A.P.; PEREIRA, F.H.F. Crescimento inicial de arbóreas nativas em solo salino-sódico do nordeste brasileiro tratado com corretivos. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 388-396, 2013.

SANTOS, B.R.V.D.; BENEDITO, C.P.; TORRES, S.B.; LEAL, C.C.P.; ALVES, T.R.C. Physiological maturity of *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 4, p. 498 - 505, 2019.

SILVA, L.J.D.; DIAS, D.C.F.D.S.; OLIVEIRA, G. L.; SILVA, JÚNIOR, R.A.D. The effect of fruit maturity on the physiological quality and conservation of *Jatropha curcas* seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 487 - 495, 2017.

SILVA, L.J.; DIAS, D.C.F.S.; SEKITA, M.C.; FINGER, F.L. Lipid peroxidation and antioxidant enzymes of *Jatropha curcas* L. seeds stored at different maturity stages. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 40, e34978, 2018.

SILVA, M.C., MACIEL, D.; COELHO, M.C.B.; GIONGO, M. PEREIRA, J.F.; SANTOS, A.F. Avaliação do crescimento inicial das mudas de *Tabebuia serratifolia* (Ipê Amarelo) sob diferentes regimes hídricos. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 2, p. 299 - 303, 2019.

SILVA, R.C.D.; VIEIRA, E.S.N.; PANOBIANCO, M. Morphophysiological characteristics of guanandi fruit and seeds during ripening and harvesting time. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 2, p. 212 - 220, 2018a.

SINGHA, K.T.; SREEHARSA, R.V.; MARIBOINA, S.; REDDY, A.R. Dynamics of metabolites and key regulatory proteins in the developing seeds of *Pongamia pinnata*, a potential biofuel tree species. **Industrial Crops and Products**, v. 140, p. 111621, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. (2017) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed 858p.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, v. 153, n. 1, p. 65 -72, 2000.

VERTUCCI, C.W.; FARRANT, J.M. Acquisition and loss of desiccation tolerance. In: Kigel J, Galili G, eds. **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, p. 237 - 271, 2017.

ARTIGO III**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM SEMENTES
IMATURAS DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau DURANTE O
ARMAZENAMENTO**

RESUMO

A colheita antecipada de sementes pode ser uma estratégia viável para a obtenção de sementes de elevada qualidade em frutos deiscientes. Estudos acerca da viabilidade e vigor das sementes durante o armazenamento, sobretudo com a caracterização das alterações enzimáticas, definem a eficiência da colheita de sementes imaturas como garantia de disponibilidade de sementes por maior período de tempo. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o comportamento de sementes imaturas de *Tabebuia caraiba* armazenadas, bem como definir o melhor estágio de maturação para o armazenamento. No momento da antese, trinta matrizes selecionadas nas cidades de São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil, tiveram suas flores marcadas, sendo realizadas colheitas dos frutos aos 35, 42 e 49 dias após a antese, caracterizando os estádios de maturação. Em condições de laboratório, os frutos foram classificados quanto à cor do epicarpo e, após o beneficiamento, com base em cada estágio de maturação e em cada cidade, as sementes foram acondicionadas em embalagens de sacos de papel *Kraft* e armazenadas em geladeira (6 ± 2 ° C) durante um período de 0 a 360 dias. No início do armazenamento e a cada 90 dias, amostras de sementes foram retiradas e avaliadas quanto ao teor de água, germinação, vigor (índice de velocidade de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência, comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas) e atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 5, sendo 3 estádios de maturação (35, 42 e 49 dias após a antese) e 5 períodos de armazenamento (0, 90, 180, 270 e 360 dias), com quatro repetições para cada cidade avaliada. Os dados foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), sendo realizada regressão polinomial em função dos períodos de armazenamento. As sementes de *Tabebuia caraiba* obtidas de frutos colhidos aos 35, 42 e 49 dias após a antese, permanecem com elevada viabilidade aos 360 dias de armazenamento nas condições do experimento. O armazenamento por 360 dias mantém sementes de *T. caraiba* oriundas de frutos colhidos aos 42 dias após a antese com elevado vigor. A atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase não está vinculada ao processo de deterioração das sementes de *T. caraiba* em condições de armazenamento.

Palavras-chave: caatinga; colheita antecipada; conservação; enzimas antioxidantes; maturação e deterioração de sementes.

ABSTRACT

Early seed harvesting may be a viable strategy for obtaining high-quality seeds in dehiscent fruits. Studies on seed viability and vigor during storage, especially with the characterization of enzymatic changes, define the efficiency of harvesting immature seeds as a guarantee of seed availability for a longer period of time. Thus, the objective of this research was to evaluate the behavior of stored immature seeds of *Tabebuia caraiba*, as well as to define the best maturation stage for storage. At the time of anthesis, thirty matrices selected in the cities of São João do Cariri and Sumé, Paraíba, Brazil, had their flowers marked, and the fruits were harvested at 35, 42 and 49 days after anthesis, characterizing the maturation stages. Under laboratory conditions, the fruits were classified according to the color of the epicarp and, after processing, based on each maturation stage and in each city, the seeds were packaged in Kraft paper bags and stored in a refrigerator (6 ± 2 °C) for a period of 0 to 360 days. At the beginning of storage and every 90 days, seed samples were taken and evaluated for water content, germination, vigor (germination speed index, emergence, emergence speed index, shoot and root length of seedlings) and activity of the enzymes superoxide dismutase, catalase and peroxidase. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 3 x 5 factorial scheme, with 3 maturation stages (35, 42 and 49 days after anthesis) and 5 storage periods (0, 90, 180, 270 and 360 days), with four replicates for each city evaluated. The data were subjected to analysis of variance and their means compared by Tukey's test ($p < 0.05$), with polynomial regression being performed as a function of the storage periods. *Tabebuia caraiba* seeds obtained from fruits harvested at 35, 42 and 49 days after anthesis remained highly viable after 360 days of storage under the experimental conditions. Storage for 360 days maintained *T. caraiba* seeds from fruits harvested at 42 days after anthesis with high vigor. The activity of the enzymes superoxide dismutase and catalase was not linked to the deterioration process of *T. caraiba* seeds under storage conditions.

Keywords: antioxidant enzymes; caatinga; conservation; early harvest; seed maturation and deterioration.

4.1 Introdução

A espécie *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau, popularmente conhecida como ipê-amarelo é pertencente à família Bignoniaceae, possui porte médio e pode alcançar até 20 metros de altura, sendo de ocorrência natural na Caatinga, Cerrado e Pantanal (SILVA et al., 2019). Devido a sua elevada plasticidade fisiológica, desenvolve-se em diferentes níveis de luminosidade, e seu principal uso se concentra na recuperação de áreas degradadas (PINTO et al., 2017). Estudos recentes constataram elevado potencial desta espécie para uso na engenharia química e farmacológica, resultado da diversidade de compostos descritos com propriedades antinociceptivas e antiedematogênicas, capazes de auxiliar no tratamento de células cancerosas, e até mesmo com atividade efetiva no combate às larvas do mosquito *Aedes aegypti* (BRITO et al., 2020; TAHARA et al., 2020).

As flores de *T. caraiba* são polinizadas principalmente por abelhas, beija-flores e moscas (OLIVEIRA, 2010). E, após a polinização, são originados frutos com grande quantidade de sementes, entretanto, a disponibilidade destas com qualidade fisiológica adequada pode ser diminuta, tendo em vista que essa espécie possui frutos deiscentes e sementes aladas, as quais se dispersam naturalmente expondo-se às condições climáticas (SANTOS et al., 2019).

Diante disso, a colheita antecipada pode ser uma estratégia viável para a obtenção de sementes com elevada qualidade (ZANATA et al., 2018). Porém, estudos acerca da viabilidade e vigor das sementes durante o armazenamento são necessários para a definição e adoção de estratégias de manejo adequadas neste período.

A inviabilidade das sementes de espécies nativas armazenadas aumenta em decorrência do tempo, sendo este, em períodos curtos de semanas ou meses (ABBADE e TAKAKI, 2012, AFZAL et al., 2019; BOADU e SIAW, 2019). Para espécies do gênero *Tabebuia*, a longevidade natural das sementes está relacionada à pouca quantidade de reservas nutritivas armazenadas em seus tecidos, assim como ao alto teor de óleo presente em sua composição química (ABBADE e TAKAKI, 2012). Classificadas como ortodoxas, sementes de *Tabebuia* são conservadas de forma adequada em câmara seca (35% UR / 23°C) e geladeira (5-10 °C), porém, sem êxito em câmara úmida (MELLO e EIRA, 1995; ABBADE e TAKAKI, 2014). Sementes de *Tabebuia serratifolia*, permaneceram viáveis por um período de 12 meses em condições de câmara fria, com 46% de umidade relativa e $8 \pm 4^\circ\text{C}$ (SILVA et al., 2011). Armazenadas em refrigerador

(40% UR / 6 °C), sementes de *Tabebuia caraiba* reduziram o vigor de forma considerável aos 5 meses após a colheita (GUEDES et al., 2012).

A baixa germinação é o primeiro sinal de deterioração das sementes após o armazenamento, caracterizando a perda de vigor e viabilidade das mesmas (AFZAL et al., 2017). Contudo, outras características devem ser avaliadas e correlacionadas a estas, pois a deterioração é um processo progressivo que envolve a redução de atividades de biossíntese, inativação de enzimas, diminuição da atividade respiratória e velocidade de germinação, menor taxa de crescimento de plântulas e ainda, da emergência em campo, culminando com a morte da semente (YIN et al., 2014; KUMAR et al., 2014; MARCOS-FILHO, 2015; AFZAL et al., 2017; ZANATA et al., 2018).

Estudos recentes têm avaliado os danos celulares e moleculares ocasionados durante a deterioração das sementes, os quais são gerados por reações hidrolíticas e oxidativas (ABBADE e TAKAKI, 2014; YIN et al., 2014; AFZAL et al., 2019; MELO et al., 2019). O estresse oxidativo resulta do desequilíbrio entre a produção e eliminação das espécies reativas de oxigênio (ERO'S), incluindo ânion superóxido (O_2^-), radical hidroxila (OH) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) presentes nas células (NTULI et al., 2011; DEMIDCHIK, 2015).

As condições de armazenamento, que envolvem temperatura e umidade, assim como o uso de embalagens adequadas, são fatores preponderantes para a eficiência do armazenamento, reduzindo a velocidade dos danos causados (AFZAL et al., 2019). Em áreas tropicais e subtropicais, as sementes ortodoxas devem ser armazenadas em estado seco (6 a 8% de umidade), abaixo da umidade relativa do ambiente, utilizando materiais de embalagem adequados à temperatura do meio (BAKHTAVAR et al., 2019). Assim, diversos trabalhos têm buscado definir as melhores condições para várias espécies, caracterizando os eventos ocorridos durante o armazenamento.

Assim, o objetivo do desenvolvimento dessa pesquisa foi avaliar o comportamento de sementes imaturas de *Tabebuia caraiba* armazenadas, bem como definir o melhor estágio de maturação para o armazenamento.

4.2 Material e métodos

O estudo de campo foi conduzido nas cidades de São João do Cariri (07° 23' 27" S, 36° 31' 58" W) e Sumé (7° 40' 18" S, 36° 52' 54" W), ambas localizadas no estado da Paraíba, Brasil. Segundo Köppen e Geiger (1928), a classificação do clima é BSh-

semiárido quente, com chuvas de verão e precipitação entre 300 a 600 mm/ano.

Em cada área foram selecionadas 30 matrizes de *T. caraiba* obedecendo a critérios de altura (no mínimo 10 m), diâmetro do caule (maior que 40 cm), e aparência fitossanitária. No momento da antese, as flores foram marcadas com fitas coloridas para acompanhamento do desenvolvimento dos frutos e sementes, sendo realizadas colheitas aos 35, 42 e 49 dias após a antese (DAA), caracterizando os estádios de maturação.

Os frutos colhidos foram encaminhados ao Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal da Paraíba, Campus II (Areia, PB), e classificados visualmente quanto à cor predominante no epicarpo com base na cartela de cores de Munsell (Figura 1), caracterizando os estádios de maturação (MUNSELL, 1976).

Estádio de maturação	Coloração do epicarpo	Caracterização visual	Munsell*
35 DAA		Verde-claro	 2.5G 5/24
42 DAA		Verde-acinzentado	 5GY 3/4
49 DAA		Cinza	 2.5GY 4/6

* Munsell color charts for plant tissues.

Figura 1 - Coloração de frutos de *Tabebuia caraiba* em diferentes estádios de maturação.

Em condições de laboratório (27 ± 3 °C e $64 \pm 20\%$ UR), os frutos permaneceram em bancadas por cinco dias para facilitar a secagem e soltura das sementes. Após o beneficiamento, com base em cada estágio de maturação e em cada cidade, as sementes foram homogeneizadas e acondicionadas em embalagens de sacos de papel *Kraft* e armazenadas em geladeira (6 ± 2 °C) durante um período de 0 a 360 dias (0, 90, 180, 270 e 360 dias).

No início do armazenamento e depois a cada 90 dias, amostras de sementes foram retiradas e avaliadas quanto ao teor de água, germinação, vigor e atividade enzimática, conforme metodologia a seguir:

Teor de água: Realizado com quatro repetições de 25 sementes por tratamento,

pelo método da estufa a 105 ± 3 °C (base úmida), durante 24 horas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem.

Germinação: Quatro repetições de 25 sementes foram desinfestadas em álcool 70% durante 30 segundos e posteriormente imersas em solução de hipoclorito de sódio a 2% por um minuto. As sementes foram dispostas em papel para germinação, confeccionados na forma de rolos e acondicionados em sacos plásticos, permanecendo em B.O.D. (*Biological Oxygen Demand*) à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. A avaliação final foi realizada aos 21 dias, de acordo com Brasil (2013).

Índice de velocidade de germinação: Determinado por meio de contagens diárias das sementes germinadas do décimo ao vigésimo primeiro dia, com posterior cálculo conforme equação proposta por Maguire (1962).

Emergência: Quatro repetições de 25 sementes foram semeadas em bandejas plásticas preenchidas com areia lavada e previamente esterilizada, sendo regadas diariamente, com permanência em casa de vegetação (27 °C/72% UR). A avaliação foi realizada aos 21 dias, contabilizando-se as plântulas emersas, sendo o resultado expresso em porcentagem.

Índice de velocidade de emergência: Obtido por meio de contagens diárias das plântulas emersas no teste de emergência (MAGUIRE, 1962).

Comprimento de parte aérea e raiz: Verificado a partir da medição do comprimento da parte aérea e raiz das plântulas normais obtidas no teste de germinação, com auxílio de régua graduada em centímetros.

Atividade antioxidante das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POX): Um extrato enzimático bruto foi preparado a partir das amostras. Para isso, quatro repetições de 10 sementes foram moídas em almofariz utilizando nitrogênio líquido, e retirada amostras de 300 mg da semente processada. Em seguida, foram homogeneizadas com 10 mL de solução tampão fosfato de potássio 100 mM, em pH 6,8, seguindo para centrifugação (4°C a 12000 g por 30 minutos). O sobrenadante foi coletado e armazenado em tubo eppendorf e congelado a -20°C até o momento da determinação da atividade enzimática, seguindo a metodologia proposta por Kar e Mishra (1976).

Superóxido dismutase: Determinada pela adição de 50 µL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 µL de NBT, 100 nM de EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) e 2 µM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,8. Após 5 minutos de incubação da solução, realizada pela

iluminação em câmara de lâmpadas fluorescentes (15 W a 25°C), o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz, seguindo para leitura em espectrofotômetro a 560 nm (GIANNOPOLITIS e RIES, 1977). O cálculo da atividade específica da enzima considerou a porcentagem de inibição obtida entre o volume da amostra e a concentração de proteína na mesma ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$).

Catalase: Determinada por medição em espectrofotômetro no comprimento de onda de 240 nm, por meio do monitoramento da variação da absorção de peróxido de hidrogênio, em intervalo de 80 segundos. Para isso, 50 μL do extrato bruto enzimático foi adicionado a um meio de reação constituído por 950 μL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0, suplementado com peróxido de hidrogênio a uma concentração final de 12,5 mM., utilizando-se coeficiente de extinção molar igual a 39,4 mM cm^{-1} , conforme Peixoto et al. (1999). A atividade específica da catalase levou em consideração a concentração de proteína solúvel no teste.

Peroxidase: Determinada seguindo o método descrito por Teisseire e Guy (2000). O sistema de reação foi composto por 30 μL de extrato enzimático diluído, tampão fosfato de potássio 50 mmol L^{-1} , pH 6,5 e pirogalol (1,2,3-benzenotriol) 20 mmol L^{-1} e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 5 mmol L^{-1} , com tempo de reação de 5 minutos a 25 °C. A atividade específica da peroxidase foi expressa em μmol de purpurogalina $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína.

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 5, sendo 3 estádios de maturação (35, 42 e 49 DAA) e 5 períodos de armazenamento (0, 90, 180, 270 e 360 dias), com quatro repetições para cada cidade avaliada. Os dados foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Também foi realizada regressão polinomial em função dos períodos de armazenamento, utilizando-se o modelo de maior significância e de melhor ajuste aos dados.

4.3 Resultados e discussão

As variáveis teor de água, índice de velocidade de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massa seca da raiz e atividade da enzima catalase nas sementes colhidas na cidade de São João do Cariri foram influenciadas pela interação dos fatores estádio de maturação e período de armazenamento, conforme a Tabela 1. Os fatores estudados influenciaram de forma

isolada as variáveis germinação, primeira contagem de germinação, massa seca da parte aérea e peroxidase. Já a atividade da enzima superóxido dismutase foi influenciada apenas pelo fator período de armazenamento.

Tabela 1 - Análise de variância para variáveis de qualidade fisiológica de sementes de *Tabebuia caraiba* em diferentes estádios de maturação e armazenadas por 360 dias.

São João do Cariri											
FV	Variáveis / Quadrados médios										
	GL	TA	G	IVG	E	IVE	CPA	CR	SOD	CAT	POX
Estádio	2	1,52**	384,8**	2,32**	684,6**	0,31**	1,25**	58,07**	2353,7 ^{ns}	3371,2**	2,90**
Período	4	68,8**	439,1**	44,3**	2544,7**	3,25**	8,93**	109,4**	17566,3**	40133,7**	10,1**
Estádio x Período	8	1,57**	53,4 ^{ns}	1,28**	129,2**	0,18*	0,59**	9,83**	1113,5 ^{ns}	6729,1**	0,08 ^{ns}
Erro	45	0,13	27,06	0,32	21,1	0,06	0,09	2,64	462	98,8	0,14
Total	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV		4,09	5,85	9,31	5,58	12,82	6,59	9,38	9,59	5,67	14,67

Sumé											
FV	Variáveis / Quadrados médios										
	GL	TA	G	IVG	E	IVE	CPA	CR	SOD	CAT	POX
Estádio	2	5,47**	348,8**	3,38**	172,8 ^{ns}	0,11 ^{ns}	3,50**	13,9**	1851,5 ^{ns}	6941,9 ^{ns}	20,49**
Período	4	74,6**	444,2**	27,8**	1638,5**	5,23**	13,83**	46,7**	31620,3**	30864,9**	14,3**
Estádio x Período	8	2,45**	18,28 ^{ns}	1,35**	57,8 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}	8747,4 ^{ns}	2819,7 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Erro	45	0,25	18,97	0,3	34,6	0,06	0,1	1,78	937,2	1495,6	0,28
Total	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV		5,63	5,04	9,83	7,37	10,7	7,72	9,1	11,05	23,02	14,1

^{ns}Não significativo e ** Significativo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). DAA= dias após a antese, TA= teor de água, G= germinação, IVG= índice de velocidade de germinação, E= emergência, IVE= índice de velocidade de emergência, CPA= comprimento da parte aérea, CR= comprimento da raiz, SOD= superóxido dismutase, CAT= catalase, e POX= peroxidase.

Nas sementes provenientes de Sumé somente as variáveis teor de água e índice de velocidade de germinação foram influenciadas pela interação dos fatores estudados. Para as variáveis germinação, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e peroxidase foi observada a influência dos dois fatores de forma isolada. O período de armazenamento foi o único fator a influenciar as variáveis primeira contagem de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência e a atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase.

As sementes colhidas nos estádios iniciais de maturação (35 e 42 DAA) foram caracterizadas com maiores teores de água no momento inicial do armazenamento,

independente da cidade de coleta, com 13,5 e 13,3%, respectivamente, naquelas colhidas em São João do Cariri, e 13 e 14,2% entre as colhidas em Sumé (Figura 2). Durante o armazenamento houve uma diminuição acentuada no teor de água nos primeiros 90 dias, momento em que as sementes permanecem entre 10,4 e 9,5% em São João do Cariri (Figura 2A), e entre 10,2 e 9,5% nas colhidas em Sumé (Figura 2B). Após 180 dias, até os 360 dias de armazenamento, o teor de água das sementes foi caracterizado com variações mínimas, com valores médios de 7,7% em São João do Cariri e 6,3% em Sumé.

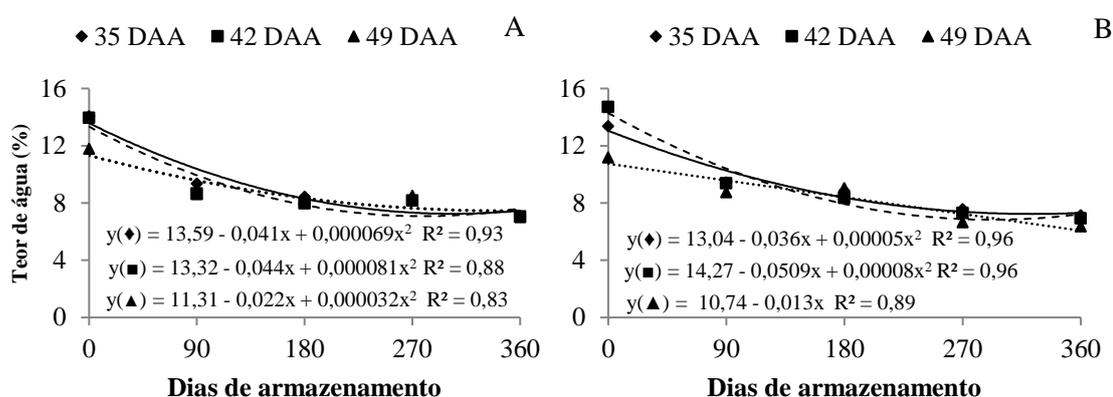


Figura 2 - Teor de água de sementes de *Tabebuia caraiba* colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A) e Sumé (B), e armazenadas por até 360 dias em geladeira.

A conservação de sementes durante o armazenamento está intimamente ligada ao teor de água, visto que esse parâmetro afeta tanto a composição química quanto a velocidade das atividades metabólicas nas sementes (SILVA et al., 2017). Foi possível observar que quanto mais distante do momento de abertura dos frutos e dispersão das sementes, maior o teor de água das sementes. Esse comportamento é decorrente do processo de maturação das mesmas, tendo em vista que elevados teores de água nos estádios iniciais de desenvolvimento são imprescindíveis para que os processos metabólicos ocorram de forma eficiente, com a formação adequada dos diferentes tecidos do embrião (BEWLEY e NONOGAKI, 2017).

Embora possa variar entre as espécies, baixos teores de água auxiliam na manutenção eficiente do armazenamento de sementes de espécies florestais (RIBEIRO et al., 2018). Outras espécies de *Tabebuia* foram testadas quanto ao armazenamento, e foi verificado que teores de água de até 15% são adequados para o armazenamento em baixas

temperaturas (MARTINS et al., 2009; MARTINS et al., 2012). No entanto, é importante destacar que sementes que contenham teor de água acima de 12% devem ser envoltas em embalagens permeáveis em condições de baixo nível de umidade relativa, além de temperatura reduzida, em torno de 6 a 10 °C (MARCOS-FILHO, 2015).

O armazenamento em papel Kraft permitiu a redução no teor de água das sementes a partir do armazenamento, sendo visualizado um equilíbrio higroscópico aos 180 dias. Essa redução foi verificada para todos os estádios de maturação, mesmo que em teores diferentes, tendo em vista que sementes mais secas no início do armazenamento perderam menor quantidade de água. O equilíbrio higroscópico é dependente do ambiente, mas também dos limites genéticos da semente, postos pelos tecidos (BORGES et al., 2015).

Destaca-se que esse comportamento é fundamental, pois a redução do metabolismo é a principal estratégia para a conservação de sementes durante o armazenamento, sendo realizado através da remoção da água e da permanência em baixas temperaturas (VICENTE et al., 2016). Essa remoção de água permite que o citoplasma da semente atinja um estado vítreo altamente viscoso, no qual o metabolismo ativo praticamente não é possível, sendo impedido pela baixa mobilidade molecular (BUITINK e LEPRINCE, 2008). Sementes de *Schinus terebinthifolius* tiveram uma redução acentuada na viabilidade à medida que o teor de água aumentou durante o armazenamento (RIBEIRO et al., 2018).

A qualidade inicial das sementes a serem armazenadas é importante para sua sobrevivência durante o armazenamento (BEWLEY et al., 2013). As sementes de *T. caraiba* utilizadas neste experimento foram caracterizadas com elevada viabilidade, haja vista que no início do armazenamento a porcentagem de germinação ultrapassou valores de 90% em todos os estádios de maturação avaliados (Figura 3).

Com relação à germinação, sementes colhidas nos estádios iniciais de maturação (35 e 42 DAA), na cidade de São João do Cariri, reduziram a porcentagem de germinação de forma linear, com 77 e 81% de sementes germinadas, respectivamente, aos 360 dias de armazenamento (Figura 3A). No entanto, o modelo polinomial quadrático foi o que melhor se ajustou para explicar os dados de germinação em sementes colhidas aos 49 DAA, onde o valor máximo (97%) foi encontrado aos 127 dias de armazenamento. A partir daí, houve um decréscimo à medida que os dias de armazenamento aumentaram, com 87% de sementes germinadas aos 360 dias.

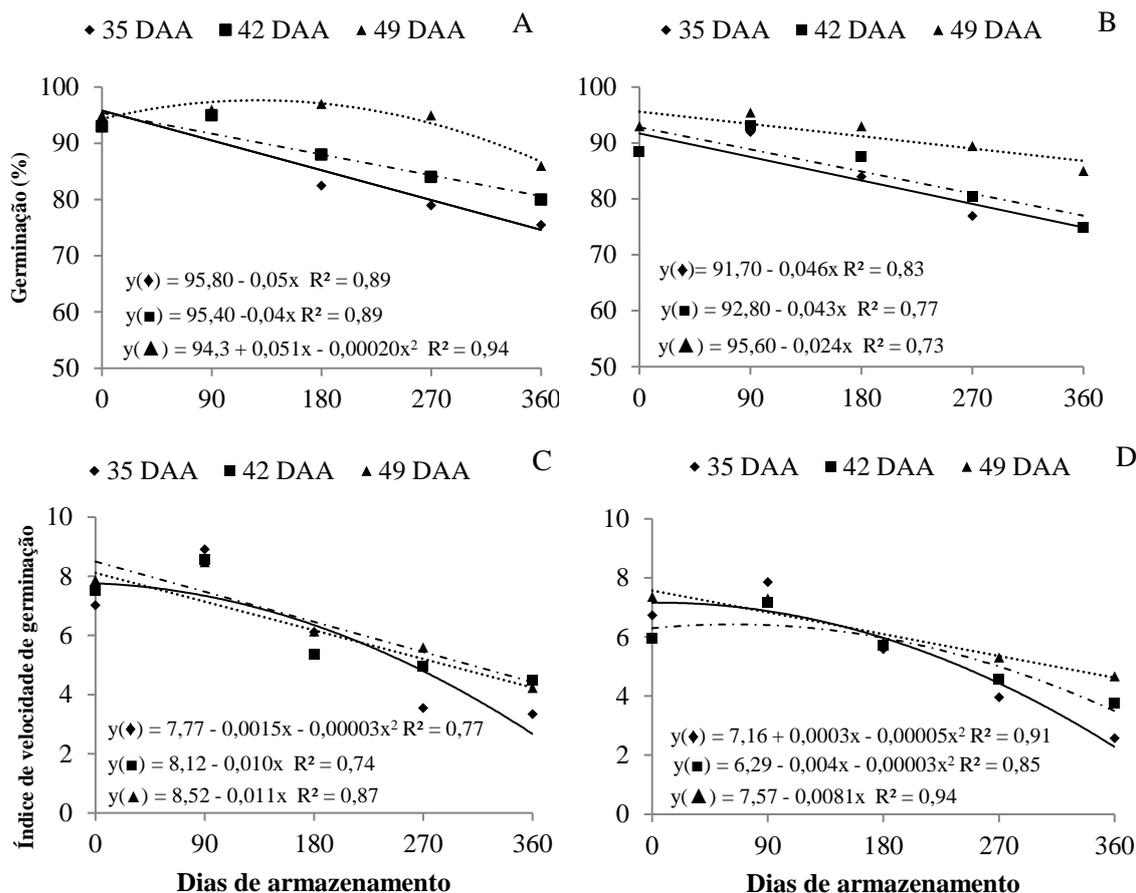


Figura 3 - Germinação e índice de velocidade de germinação de sementes de *Tabebuia caraiba* colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A e C) e Sumé (B e D), e armazenadas por até 360 dias em geladeira.

Nas sementes colhidas em Sumé, independente dos estádios de maturação, a redução na porcentagem de germinação ocorreu de forma linear (Figura 3B). Destaca-se que sementes colhidas aos 49 DAA tiveram menor redução na porcentagem de germinação, mantendo 87% de sementes germinadas aos 360 dias de armazenamento. Essa elevada viabilidade de sementes maduras durante o armazenamento pode ser reflexo do processo de secagem dentro do fruto, ocorrendo em condições naturais e ideais para a espécie (SILVA et al., 2017).

Ainda assim, é importante destacar que sementes colhidas em estágio imaturo (35 DAA) permaneceram com germinação acima de 80% até os 270 dias de armazenamento, o que demonstra que as condições utilizadas no armazenamento auxiliaram na manutenção da qualidade das sementes. Sementes de *Jatropha curcas* em diferentes estádios de maturação só demonstraram diferenças na sua viabilidade após 270 dias de armazenadas (SILVA et al., 2018). De forma semelhante sementes de *Tabebuia serratifolia* permaneceram com elevada viabilidade aos 360 dias de armazenamento em

condições de geladeira (SILVA et al., 2011). *Tabebuia roseoalba* também permaneceu com valores elevados de germinação de suas sementes após 360 dias de armazenamento, tendo diminuição para 52% somente após 24 meses (ABBADE e TAKAKI, 2014).

O vigor das sementes foi afetado pelo armazenamento, com reduções de aproximadamente 50% ao seu final, tendo ocorrido o mesmo para o índice de velocidade de germinação (Figura 3 C-D).

Nas sementes colhidas em São João do Cariri, observa-se que aos 35 DAA tiveram seu comportamento ajustado ao modelo quadrático, com maior valor (7,8) aos 25 dias de armazenamento (Figura 4C). Sementes colhidas aos 42 e 49 DAA tiveram redução linear em seus valores para essa variável. No entanto, aos 360 dias de armazenamento, os maiores valores de índice de velocidade de germinação foram encontrados nas sementes colhidas aos 49 e 42 DAA, com 4,56 e 4,52, respectivamente.

Estudos destacam que, diferente da viabilidade, o vigor é reduzido em maiores taxas durante o armazenamento. Observação semelhante ocorreu na avaliação do índice de velocidade de germinação e sementes de *T. serratifolia*, com redução no vigor aos 360 dias, independente das condições utilizadas no armazenamento (SILVA et al., 2011).

Entretanto, é necessário destacar que neste experimento sementes colhidas mais próximas à abertura do fruto tiveram menores reduções no vigor, evidenciando a necessidade de se completar o processo de maturação para a manutenção do vigor das sementes armazenadas, com destaque para àquelas colhidas aos 42 DAA. Nas sementes provenientes de Sumé, observa-se que as sementes colhidas aos 49 DAA tiveram uma redução linear no vigor avaliado por essa característica (Figura 4D). No entanto, estas sementes foram caracterizadas com o maior índice de velocidade de germinação durante todo o período de armazenamento.

Os resultados para as sementes colhidas aos 35 e 42 DAA, foram ajustados ao modelo quadrático e, dentre estas, aquelas colhidas aos 35 DAA, iniciaram o armazenamento com maior índice de velocidade de germinação, mantendo valores máximos de 7,16 aos 03 dias após o armazenamento, entretanto, o decréscimo a partir desse ponto é acentuado, culminando com o menor valor entre os estádios de maturação ao final do armazenamento. Aos 360 dias após o armazenamento o maior valor foi observado para sementes colhidas aos 49 DAA, com índice de 4,65. Quanto mais completo for o processo de maturação, maior será o vigor das sementes (SILVA et al., 2018). Isso por que o processo de maturação deve ocorrer sem interrupções, de modo que a semente tenha todo o aparato bioquímico formado e eficiente, considerando seus tecidos

de reserva e sua fisiologia (BEWLEY e NONOGAKI, 2017).

O maior potencial de armazenamento das sementes colhidas aos 42 DAA foi também verificado quando o vigor foi avaliado através das variáveis emergência e índice de velocidade de emergência (Figura 4). O comportamento quadrático explicou adequadamente os dados da emergência de plântulas para todos os estádios de maturação avaliados durante o armazenamento, na cidade de São João do Cariri (Figura 4A).

A maior porcentagem de emergência (98%) foi observada aos 143 dias para as sementes colhidas aos 42 DAA. Para as sementes colhidas aos 35 e 49 DAA, os maiores valores de germinação foram verificados aos 26 e 48 dias de armazenamento, respectivamente. Aos 360 dias de armazenamento, sementes colhidas aos 42 DAA permaneceram com maior porcentagem de emergência (84%).

Nas sementes colhidas em Sumé, uma maior porcentagem de emergência (94%) foi observada logo após o início do armazenamento (3º dia), independente do estágio de maturação. Aos 360 dias de armazenamento, a porcentagem de emergência foi de 67% (Figura 4B).

Avaliando o vigor através do índice de velocidade de emergência, nas sementes colhidas na cidade de São João do Cariri houve um decréscimo linear para todos os estádios de maturação avaliados, sendo que sementes menos imaturas, colhidas aos 49 DAA, tiveram maior redução, com índice de 0,95 aos 360 dias de armazenamento, enquanto sementes colhidas aos 42 e 35 DAA foram caracterizadas com valores de 1,54 e 1,50, respectivamente (Figura 4C). A redução acentuada do vigor de sementes colhidas aos 49 DAA pode ser explicada pela exposição das mesmas às condições climáticas no momento da colheita, visto que os frutos se encontravam abertos, justificando assim, um processo de deterioração mais avançado, o qual tornou-se visível durante os períodos de armazenamento.

O índice de velocidade de emergência não foi afetado pelos estádios de maturação de forma isolada nem pela interação, para as sementes colhidas em Sumé, tendo seus resultados ajustados ao modelo linear decrescente para o fator período (Figura 4D). Aos 360 dias de armazenamento as sementes foram caracterizadas com índice de 1,49.

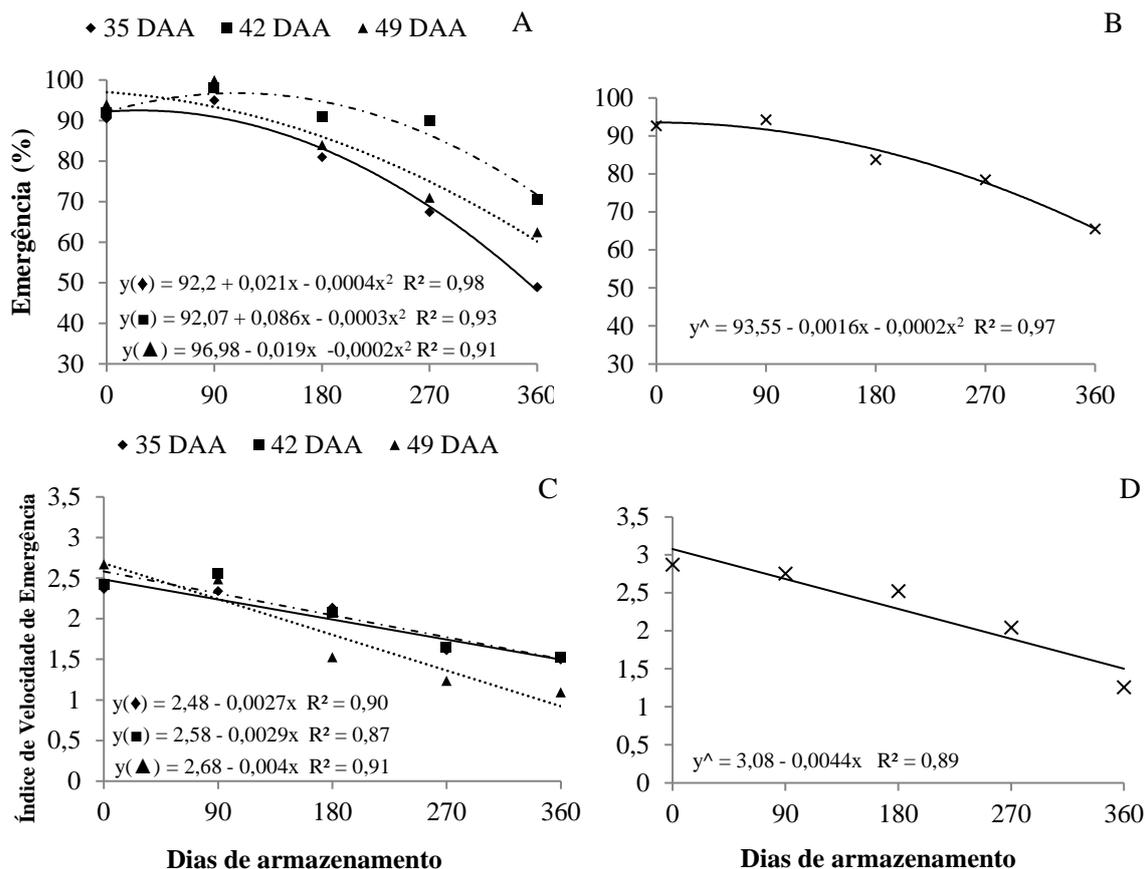


Figura 4 - Emergência e índice de velocidade de emergência de sementes de *Tabebuia caraiba* colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A e C) e Sumé (B e D), e armazenadas por até 360 dias em geladeira.

Em trabalho avaliando condições de armazenamento, a porcentagem de emergência de sementes de *T. caraiba*, armazenadas em sacos de papel Kraft e mantidas em geladeira, não foi caracterizada com reduções elevadas, no entanto, o período máximo de avaliação ocorreu aos 150 dias (GUEDES et al., 2012). Ainda assim, esses mesmos autores ressaltam que houve uma redução linear no índice de velocidade de emergência. Para sementes de *Psidium friedrichsthalianum* verificaram-se maiores reduções no vigor daquelas armazenadas com maior teor de água (GENTIL et al., 2018). Essas variáveis têm importância agrícola e ecológica, auxiliando na identificação de propriedades das sementes que determinam o potencial de emergência rápida e uniforme, bem como o desenvolvimento de mudas normais sob uma ampla gama de condições (BONIECKA et al., 2019).

O crescimento das plântulas em condições de campo também avalia o vigor das sementes, de modo que para o seu estabelecimento há dependência do fornecimento de nutrientes a partir da mobilização de reservas de armazenamento, localizadas

principalmente nos cotilédones (MARCOS-FILHO, 2015a). Assim, de maneira complementar, o crescimento de plântulas e o acúmulo de massa de matéria seca nas mesmas devem ser verificados.

Com relação ao comprimento das plântulas foi possível observar que o comprimento da parte aérea é mais afetado durante o armazenamento. Os resultados para esta variável foram ajustados ao modelo linear decrescente, independente da cidade de colheita das sementes (Figura 5 A-B).

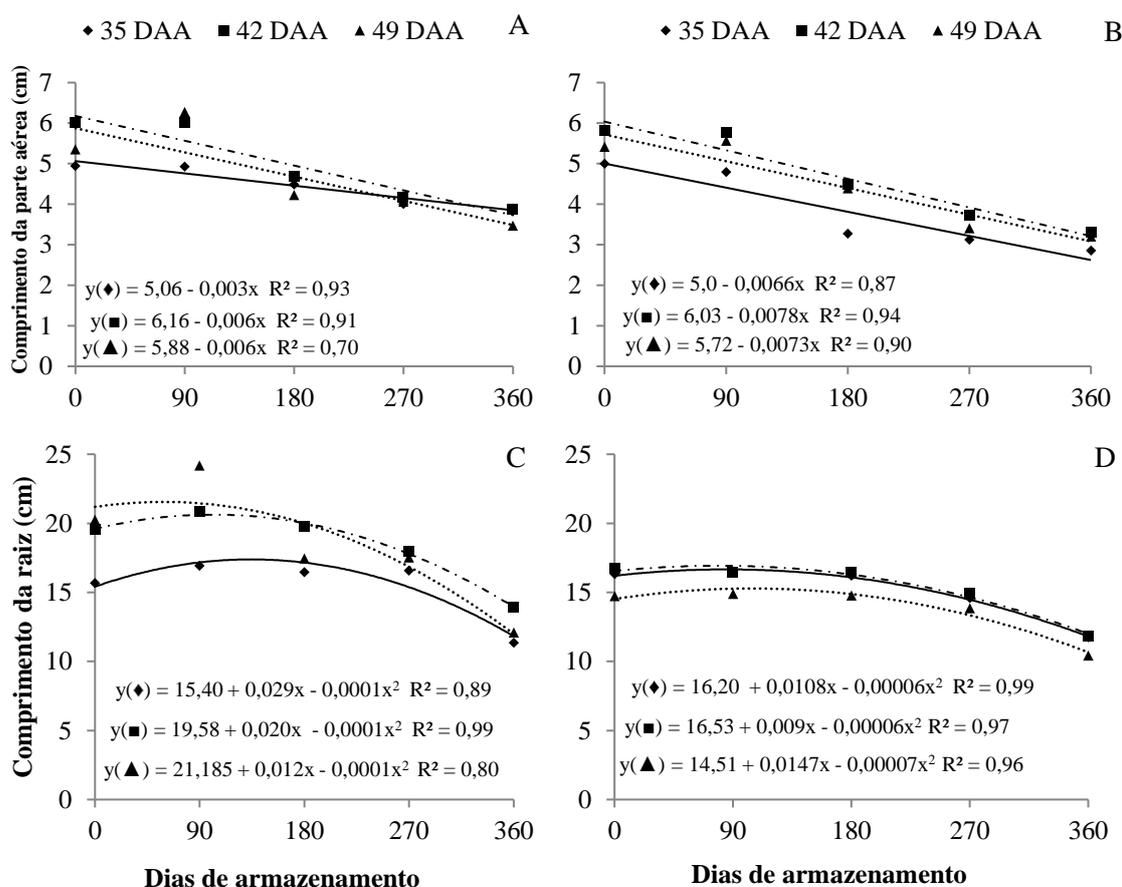


Figura 5 - Comprimento da parte aérea e raiz de plântulas de *Tabebuia caraiba* provenientes de sementes colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A e C) e Sumé (B e D), e armazenadas por até 360 dias em geladeira.

Sementes colhidas aos 42 DAA na cidade de São João do Cariri iniciaram o armazenamento gerando plântulas de maior comprimento (6,16 cm), no entanto, ao final deste (360 dias), houve uma redução para 4,0 cm, valor próximo do obtido em sementes colhidas aos 35 DAA, o qual foi igual a 3,98 cm (Figura 5A). Sementes colhidas aos 42

DAA na cidade de Sumé também geraram plântulas maiores (6,03 cm) no início do armazenamento (Figura 5B). Ao final do armazenamento as maiores plântulas foram geradas de sementes colhidas aos 42 e 49 DAA, com 3,22 e 3,09 cm, respectivamente.

A proximidade dos valores encontrados entre os diferentes estádios de maturação ao final do armazenamento indica que esse comportamento sofre maior influência do tempo de armazenamento quando comparado ao estágio de maturação. Para sementes de *J. curcas* colhidas em frutos secos, o comprimento das plântulas foi reduzido durante o armazenamento, sendo justificado por alterações enzimáticas devido ao elevado teor de óleo nas sementes (SILVA et al., 2017). Assim, devido à elevada quantidade de óleo presente nas sementes das espécies do gênero *Tabebuia*, essa redução deve ser resultado destas alterações. Em sementes armazenadas de *T. roseoalba* também foi verificado um decréscimo linear no comprimento da parte aérea de plântulas (ABBADE e TAKAKI, 2014).

Na avaliação do comprimento da raiz primária foi possível observar a manutenção de maiores valores em sementes em estádios de maturação mais elevados. Para essa variável, os resultados foram ajustados ao modelo quadrático nas duas cidades de colheita (Figura 5 C-D). Sementes colhidas aos 49 DAA alcançaram o maior comprimento de raiz entre aquelas colhidas em São João do Cariri, medindo 21,5 cm aos 60 dias de armazenamento (Figura 5C). No entanto, foram as sementes colhidas aos 42 DAA que mantiveram o maior comprimento de raiz ao final do armazenamento, com valores de 13,8 cm. Dessa forma, sementes colhidas aos 42 DAA são mais vigorosas, já que plântulas com maior comprimento de raiz possuem maior capacidade de sobrevivência em campo, de tal maneira que podem absorver uma maior quantidade e diversidade de nutrientes do solo em que se encontram (TAIZ et al., 2017).

Nas sementes colhidas em Sumé o comportamento foi similar entre aquelas colhidas aos 35 e 42 DAA, com valores máximos de 16 cm aos 90 e 155 dias de armazenamento, respectivamente. Aos 360 dias de armazenamento, o comprimento médio da raiz foi de 12,3 e 11,9 cm para sementes colhidas aos 35 e 42 DAA, respectivamente (Figura 5D).

Para algumas espécies, o armazenamento em condições de baixas temperaturas e umidade relativa é tão eficiente que o vigor avaliado por essa característica não é afetado, a exemplo de *Eugenia dysenterica* (WAKSON SILVA, 2019). Entretanto, diferentemente do observado por Guedes et al. (2012), ao avaliar o vigor das sementes com base no comprimento de raiz constatou-se que o mesmo foi afetado negativamente com o decorrer dos

períodos de armazenamento, mesmo em ambiente de baixa temperatura e umidade relativa.

Em relação às alterações bioquímicas, as reações metabólicas que ocorrem durante a germinação e armazenamento de sementes levam à produção de espécies reativas de oxigênio (ERO'S), sendo possível observar as alterações na atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase (Figura 6).

Na avaliação da enzima superóxido dismutase os estádios de maturação das sementes não influenciaram, tendo os resultados ajustados ao modelo quadrático nas duas cidades de colheita (Figura 6 A-B).

Nas sementes colhidas em São João do Cariri, maior atividade foi observada aos 124 dias de armazenamento, com 254,3 unidades mg^{-1} de proteína (Figura 6A), havendo redução a partir desse ponto. Esse comportamento também foi observado nas sementes colhidas em Sumé, com maior atividade (321,8 unidades mg^{-1} de proteína) observada aos 122 dias de armazenamento (Figura 6B).

Durante o armazenamento as ERO'S atuam como sinalizadores para que o sistema antioxidante impeça a manutenção dessas substâncias em níveis elevados dentro da célula, neutralizando-as e evitando a toxicidade (DEMIDCHIK, 2015). Portanto, essa maior atividade de superóxido dismutase aos 120 dias de armazenamento, em média, indica maior qualidade nesse período, tendo em vista que a ação dessa enzima é eficiente na redução do anion superóxido para produzir peróxido de hidrogênio e oxigênio (TAIZ et al., 2017).

No que diz respeito à atividade da enzima catalase, entre as sementes colhidas na cidade de São João do Cariri, somente aquelas colhidas aos 35 DAA tiveram seus resultados ajustados ao modelo linear decrescente (Figura 6C). Mesmo essas sementes sendo caracterizadas com máxima atividade enzimática da catalase no início do armazenamento, com 291,3 unidades mg^{-1} de proteína, o decréscimo linear culminou com atividade no valor de 62,7 unidades mg^{-1} de proteína aos 360 dias de armazenamento, menor atividade enzimática observada entre os estádios de maturação testados para esse período. Essa redução pode ser explicada por alguma deficiência no aparato bioquímico das sementes, tendo em vista o reduzido tempo de maturação dentro do fruto e, portanto, interrupção da nutrição (MARCOS-FILHO, 2015; BEWLEY e NONOGAKI, 2017). Para a espécie *S. terebinthifolius* foram encontradas reduções lineares significativas de atividade enzimática em sementes com maiores teores de água (RIBEIRO et al., 2018).

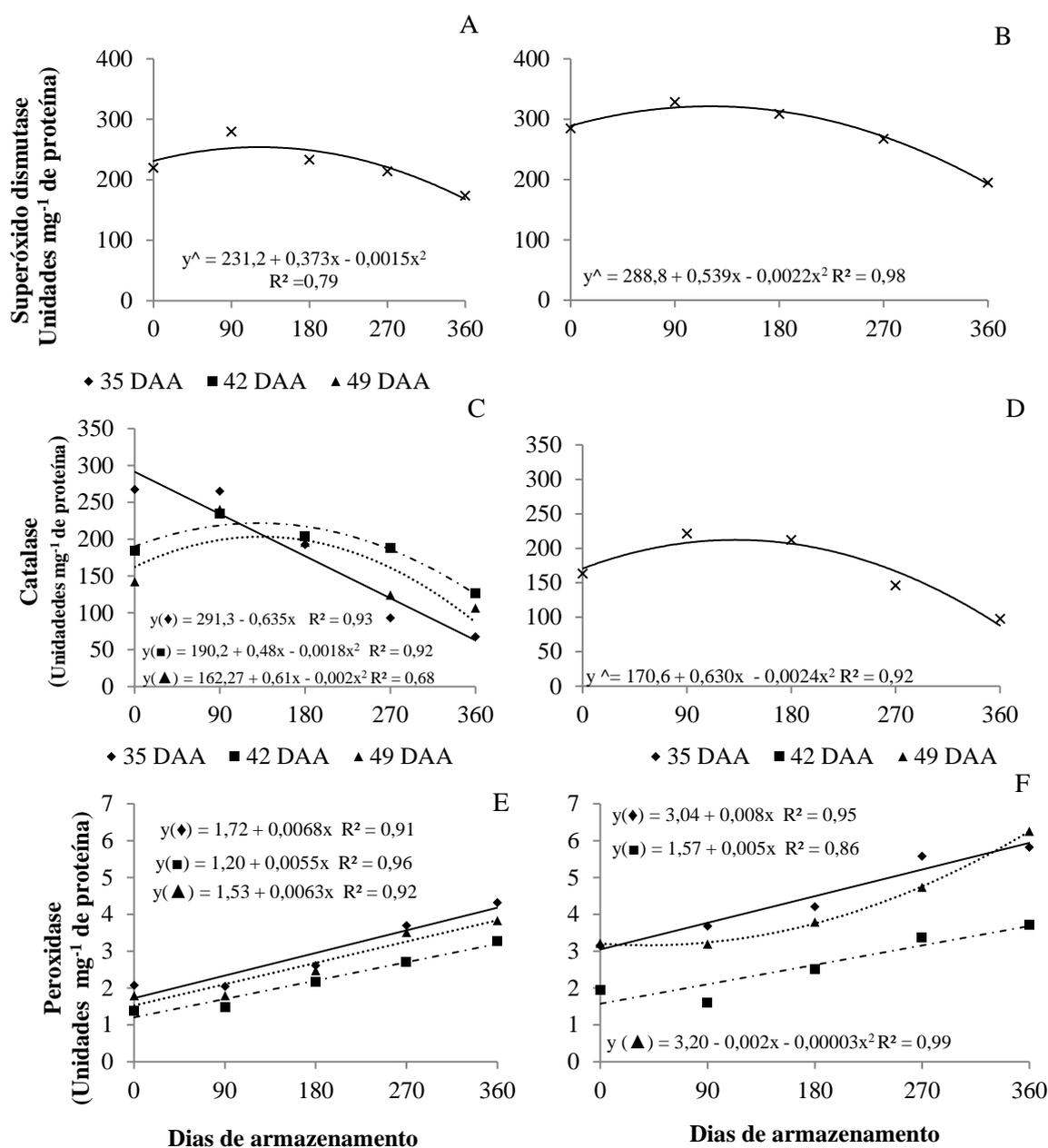


Figura 6 - Atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase em sementes de *Tabebuia caraiba* colhidas em diferentes estádios de maturação, nas cidades de São João do Cariri (A, C e E) e Sumé (B, D e F), e armazenadas por até 360 dias em geladeira.

A maior atividade da enzima catalase ao final do armazenamento foi verificada em sementes colhidas aos 42 DAA, com valores de 129,7 unidades mg⁻¹ de proteína. Vale ressaltar que nesse mesmo estádio de maturação, aos 133 dias de armazenamento foi constada a maior atividade enzimática da catalase, com valores iguais a 222,1 unidades mg⁻¹. Sementes colhidas aos 42 e 49 DAA foram caracterizadas com atividades da

enzima catalase semelhantes às da superóxido dismutase. Esse comportamento semelhante se dá por que a atividade dessa última enzima aumenta o conteúdo de H_2O_2 nas células, sendo isso prejudicial às sementes quando em elevadas concentrações, necessitando, assim, do aumento da atividade de outras enzimas do complexo oxidativo, a exemplo da catalase, responsável pela eliminação dessa ERO (RIBEIRO et al., 2018; SILVA et al., 2018; MELO et al., 2019).

Nas sementes colhidas em Sumé, a atividade enzimática de catalase não foi influenciada pelos estádios de maturação, apenas pelos períodos de armazenamento, tendo valor máximo de 211,9 unidades mg^{-1} de proteína aos 131 dias, reduzindo a partir desse ponto (Figura 6D). Em trabalho realizado com armazenamento de sementes de *T. roseoalba*, a atividade da enzima catalase reduziu à medida que o período de armazenamento aumentou, assim também ocorreu com sementes de *Pterogyne nitens* (ATAIDE et al., 2012; ABBADE e TAKAKI, 2014).

Entretanto, é preciso destacar que neste experimento, mesmo com redução nas atividades das enzimas superóxido dismutase e catalase, as sementes de *T. caraiba* permaneceram viáveis. Sementes respondem diferentemente às ERO'S dentro de uma “janela oxidativa”, que, a depender da concentração, pode danificar as células ou mesmo não serem suficientes para ativar as vias metabólicas relevantes para o processo de germinação (BAILLY et al., 2018).

Assim, sabe-se que a diminuição do potencial antioxidante das células associada à geração de ERO'S é indicativo para a deterioração das sementes durante o armazenamento (KIBINZA et al., 2011). No entanto, devido aos diversos compartimentos em que podem atuar, essas enzimas exibem diferentes sensibilidades ao armazenamento das sementes, dependendo da espécie e das condições impostas (LEHNER et al., 2008). Sementes de *Moringa oleífera*, por exemplo, foram caracterizadas com aumentos na atividade de catalase durante o armazenamento, indicando que a perda da viabilidade dessas sementes não pode ser atribuída a danos oxidativos (MELO et al., 2019).

Quanto à atividade da enzima peroxidase foi possível observar que esta aumentou à medida que o armazenamento ocorreu, tendo seus dados ajustados ao modelo linear crescente, exceto para as sementes colhidas aos 49 DAA, na cidade de Sumé, onde observou-se resultados ajustados ao modelo quadrático (Figura 6 E-F). Para as sementes oriundas de São João do Cariri, aos 360 dias de armazenamento, menor atividade foi observada em sementes colhidas aos 42 DAA, com 3,18 unidades mg^{-1} de proteína, se-

guida pelos estádios 49 e 35 DAA, com 3,79 e 4,16 unidades mg^{-1} de proteína, respectivamente (Figura 6E).

Nas sementes colhidas na cidade de Sumé, uma menor atividade enzimática foi verificada em sementes colhidas aos 42 DAA durante todo o período avaliado, mantendo a atividade de 3,37 unidades mg^{-1} de proteína ao final do armazenamento (Figura 6F).

Em comparação com a catalase, a enzima peroxidase está amplamente distribuída nos compartimentos celulares, sendo associada às paredes e membranas celulares, organelas, vacúolos e citosol, permitindo maior mobilidade onde sua ação é necessária (GILL e TUTEJA, 2010). Essa enzima atua como mecanismo de defesa e prevenção da perda de qualidade, principalmente devido à oxidação de fenóis (SILVA et al., 2018). Usando peróxido de hidrogênio como aceitador, a peroxidase desempenha um papel crítico no metabolismo das sementes, aumentando os mecanismos de defesa e impedindo a perda de qualidade (USHIMARU et al., 2001). A maior atividade de peroxidase nas sementes pode contribuir para a preservação da sua qualidade fisiológica (ABBADE e TAKAKI, 2014).

4.4 Conclusões

As sementes de *Tabebuia caraiba* obtidas de frutos com coloração verde-clara (35 DAA), verde-acinzentado (42 DAA) e cinza (49 DAA), permanecem com elevada viabilidade aos 360 dias de armazenamento quando acondicionadas em embalagens de papel *Kraft* sob baixas temperaturas e umidade relativa.

O armazenamento por 360 dias mantém sementes de *T. caraiba* oriundas de frutos verde-acinzentado (42 DAA) com elevado vigor.

A atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase não está vinculada ao processo de deterioração das sementes de *T. caraiba* em condições de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- ABBADE, L.C.; TAKAKI, M. Biochemical and physiological changes of *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (Bignoniaceae) seeds under storage. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 1, p. 100-107, 2014.
- ABBADE, L.C.; TAKAKI, M. Mobilisation of reserves during germination of seeds of *Tabebuia roseoalba* (Bignoniaceae). **Seed Science and Technology**, v. 40, p. 259-264, 2012.
- AFZAL, M.A.; BAKHTAVAR, M.; ASHFAQ, M.; SAGHEER; BARIBUTSA, D. Maintaining dryness during storage contributes to higher quality of maize seeds. **Journal of Stored Products Research**, v. 72, p.49-53, 2017.
- AFZAL, I.; JAFFAR, I.; ZAHID, S.; REHMAN, H.U.; BASRA, S.M.A. Physiological and biochemical changes during hermetic storage of *Moringa oleifera* seeds. **South African Journal of Botany**, v. 129, p. 435-441, 2019.
- ATAÍDE, G.M.; FLORES, A.V.; LIMA E BORGES, E.E. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de *Pterogyne nitens* Tull durante o envelhecimento artificial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 71-76, 2012.
- BAILLY, C. EL-MAAROUF-BOUTEAU, H.; CORBINEAU, F. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. **Comptes rendus biologies**, v. 331, n. 10, p. 806-814, 2008.
- BAKHTAVAR, M.A.; AFZAL, I.; BASRA, S.M.A.; WAHID, A. Implementing the 'drychain' during storage reduces losses and maintains quality of maize grain. **Food Security**, v. 11, n. 2, p. 345-357, 2019.
- BEWLEY, J.D.; NONOGAKI, H. Seed maturation and germination. **Reference Module in Life Sciences**, v. 1, p. 623-626, 2017.
- BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. (2013). **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy** (3rd ed.). New York, NY: Springer.
- BOADU, K.B.; SIAW, D.E.K.A. The effect of storage period on the viability of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. seeds. **Scientific African**, v. 5, p. e00127, 2019.
- BONIECKA, J.; KOTOWICZ, K.; SKRZYPEK, E.; DZIURKA, K.; REWERS, M.; JEDRZEJCZYK, I.; DĄBROWSKA, G.B. Potential biochemical, genetic and molecular markers of deterioration advancement in seeds of oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 130, p. 478-490, 2019.
- BORGES, E.E.L.; FLORES, A.V.; MATA ATAÍDE, G.; MATOS, A.C.B. Alterações fisiológicas e atividade enzimática em sementes armazenadas de *Melanoxylonbrauna* Schott. **Cerne**, v. 21, n.1, p. 75-81, 2015.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes.

- Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS5 2009. 395 p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instruções para análise de sementes de espécies florestais, de 17 de janeiro de 2013, Brasília: MAPA, 2013. 98 p.
- BRITO, M.C.A.; PEREIRA, L.P.L.A.; GUIMARÃES, S.J.A.; CASTRO JÚNIOR, J. R.; CHAGAS, V.T. Bioprospection of *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. Hook. f. ex S. Moore: Chemical, Biological and Toxicity Studies. **Preprints** 2020, 2020010249
- BUITINK, J; LE PRINCE, O. Intracellular glasses and seed survival in the drystate. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, p. 788–795, 2008.
- DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. **Environmental and Experimental Botany**, v, 109, p. 212-228, 2015.
- GENTIL, D.F.D.O.; FERREIRA, S. A.D.N.; REBOUÇAS, E.R. Germination of *Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied. Seeds under different temperature and storage conditions. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 246-252, 2018.
- GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in high-replants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.
- GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant physiology and biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010.
- GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; MELO, P.A.F.R.; MOURA, S.S.S.; SILVA, R.S. Storage of *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau seeds in different packaging and temperatures. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 433-440, 2012.
- KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. **Physiologia Plantarum**, v. 57, p. 315-319, 1976.
- KIBINZA, S.; BAZIN, J.; BAILLY, C.; FARRANT, J.M.; CORBINEAU, F. Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. **Plant Science**, v. 181, n. 3, p. 309-315, 2011.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (1928) **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cm x 200cm.
- KUMAR, V.; TOMAR, B.S.; SINGH, B.; KUMAR, S. Effect of post-harvest ripening and drying methods on seed quality and storability in pumpkin cv Pusa Hybrid 1. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 84, n. 9, p. 1044-1048, 2014.
- LEHNER, A.; MAMADOU, N.; POELS, P.; CÔME, D.; BAILLY, C.; CORBINEAU, F. Changes in soluble carbohydrates, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in the embryo during ageing in wheat grains. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 3, p. 555-565, 2008.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS-FILHO J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015a.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2ed. 2015. 660p.

MARTINS, D.C.; VILELA, F.K.J.; GUIMARÃES, R.M.; GOMES, L.A.A.; SILVA, P.A. Physiological maturity of egg plant seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 534-540, 2012.

MARTINS, L.; LAGO, A.A.D.; ANDRADE, A.C.S.D.; SALES, W.R.M. Conservação de sementes de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.) em nitrogênio líquido. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, p. 71-76, 2009.

MELLO, C.M.C.; EIRA, M.T.S. Conservação de sementes de ipês (*Tabebuia* spp.). **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p.427-432, 1995.

MELO, S.M.B.; ALVES-DE-OLIVEIRA, D.F.; SOUZA, N.C.; TAVARES-SILVA, W.K.; MACÊDO, C.E.C.; VOIGT, E.L. Oxidative status of *Moringa oleifera* Lam. seeds during storage. **South African Journal of Botany**, v. 129, p. 429-434, 2019.

MUNSELL, A.H. (1976) **Munsell book of color**. Macbeth. Division of Koll Margen Corporation.

NTULI, T.M.; FINCH-SAVAGE, W.E.; BERJAK, P.; PAMMENTER, N.W. Increased drying rate lowers the critical water content for survival in embryonic axes of english oak (*Quercus robur* L.) seeds F. **Journal of integrative plant biology**, v. 53, n. 4, p. 270-280, 2011.

OLIVEIRA, L.Z. **Variabilidade genética de caracteres morfológicos e germinação de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bur. (Bignoniaceae) no município de Macapá, AP**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Campus de Jaboticabal Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

PEIXOTO, H.P.P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIM, P.R.; MOREIRA, M.A. Aluminium effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.

PINTO, J.R.S; DOMBROSKI, J.L.D.; FREITAS, R.M.O. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook., sob sombreamento no semiárido. **Revista Floresta**, v. 46, n. 4, p. 465-472, 2017.

RIBEIRO, L.P.; LEITE FILHO, A.T.; SILVA, L.B.D.J.; SILVA, V.F.; BORGES, E.E.D.L. Physiological and biochemical changes in brazilian pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) seeds during storage. **Revista Árvore**, v. 42, n. 1, p. 1-8, 2018.

SANTOS, B.R.V.D.; BENEDITO, C.P.; TORRES, S.B.; LEAL, C.C.P.; ALVES, T.R.C. Physiological maturity of *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 4, p. 498-505, 2019.

SILVA, D.G.; CARVALHO, L.M.D.; NERY, M.C.; OLIVEIRA, L.M.D.; CALDEIRA, C.M. Alterações fisiológicas e bioquímicas durante o armazenamento de sementes de *Tabebuia serratifolia*. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 1-7, 2011.

SILVA, L.J.D.; DIAS, D.C.F.D.S.; OLIVEIRA, G.L.; SILVA JÚNIOR, R.A.D. The effect of fruit maturity on the physiological quality and conservation of *Jatropha curcas* seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 487-495, 2017.

SILVA, L.J.D.; DIAS, D.C.F.D.S.; SEKITA, M.C.; FINGER, F.L. Lipid peroxidation and antioxidant enzymes of *Jatropha curcas* L. seeds stored at different maturity stages. **Acta Scientiarum**, v. 40, p. 1-10, 2018.

SILVA, M.C., MACIEL, D.; COELHO, M.C.B.; GIONGO, M. PEREIRA, J.F.; SANTOS, A.F. Avaliação do crescimento inicial das mudas de *Tabebuia serratifolia* (Ipê Amarelo) sob diferentes regimes hídricos. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 2, p. 299 - 303, 2019.

TAHARA, T.; WATANABE, A.; YUTANI, M.; YAMANO, Y.; SAGARA, M. STAT3 inhibitory activity of naphthoquinones isolated from *Tabebuia avellanadae*. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 28, n. 6, p. 115347, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. (2017) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed 858p.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, v.153, p.65-72, 2000.

USHIMARU, T.; KANEMATSU, S.; KATAYAMA, M.; TSUJI, H. Antioxidative enzymes in seedling of *Nelumbo nucifera* germinated under water. **Physiologia Plantarum**, v. 112, n. 1, p. 39-46, 2001.

VICENTE, D.; OLIVEIRA, L.M.D.; TONETTI, O.A.O.; SILVA, A.A.; LIESCH, P.P.; ENGEL, M.L. Viabilidade de sementes de *Ocotea puberula* (Rich.) Ness ao longo do armazenamento. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 418-426, 2016.

WALKSON SILVA, H.; VALE, L.S.R.; SILVA, C.F.; VELASCO, M.F.; MONFORT, L.H.F. Qualidade de sementes de *Eugenia dysenterica* dc. Durante o armazenamento. **Revista engenharia na agricultura**, v. 27, n. 1, p. 12-21, 2019.

YIN, G.; XIN, X.; SONG, C.; CHEN, X.; ZHANG, J.; WU, S.; ... LU, X. Activity levels and expression of antioxidant enzymes in the ascorbate – glutathione cycle in artificially aged rice seed. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 1-9, 2014.

ZANATTA, E.; SZARESKI, V.J.; CARVALHO, I.R.; PIMENTEL, J.R.; TROYJACK, C.; DELLAGOSTIN, S.M.; ... VILLELA, F.A. Pre-harvest Desiccation: Productivity and

physical and physiological inferences on soybean seeds during storage. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 6, p. 354-362, 2018.

ARTIGO IV

**VARIABILIDADE INTRAESPECÍFICA DA MORFOLOGIA E FISIOLOGIA
DAS SEMENTES DE *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau**

RESUMO

A *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau ocorre em alguns biomas brasileiros, com diferentes potencialidades de uso. É uma espécie *alógama*, que apresenta variabilidade genética entre e dentro das populações. Essa variabilidade pode ser estimada a partir de diferentes marcadores e mais recente por meio da qualidade fisiológica das sementes. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar a divergência genética entre matrizes de *T. caraiba* (Mart.) Bureau a partir de avaliações morfométricas e fisiológicas de sementes. Foram utilizadas 20 matrizes de *T. caraiba* provenientes dos municípios de São João do Cariri e Sumé na Paraíba. Os frutos foram coletados e as características físicas e fisiológicas das sementes foram analisadas no Laboratório de Análise de Sementes no Centro de Ciências Agrárias na Universidade Federal da Paraíba. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, e os dados submetidos a análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott. As estimativas de herdabilidade, variância genética, e a relação entre os coeficientes de variação genética e ambiental também foram calculados. Foi realizada a análise de componentes principais e a quantificação da divergência genética foram obtidas pela distância de Mahalanobis. Os dados foram agrupados pelo método o UPGMA, utilizando-se o critério de Mojena para definição dos grupos. Todas as análises foram realizadas assumindo que as famílias são de meios-irmãos. Diferenças significativas foram observadas para as características de sementes em matrizes de *T. caraiba*, demonstrando haver variabilidade entre esses indivíduos quanto às características físicas e fisiológicas de sementes, e que estas encontram-se sob baixa de influência ambiental entre as populações. As características de germinação e vigor são de grande relevância para o estudo da tecnologia de sementes, indicando as matrizes SJC P03, SJC P04, SJC P11, SJC P16, SJC P17, SJC P18, SJC P19, SJC P20, Sume P01, Sume P04, Sume P08, Sume P11, Sume P18 como genótipos superiores, demonstrando qualidade nas sementes produzidas. A população de São João do Cariri possui maior número de matrizes de *T. caraiba* geradoras de sementes vigorosas, sendo as matrizes derivadas de Sumé as que apresentam maior variabilidade nas características estudadas.

Palavras-chave: análise multivariada; descritores morfo-fisiológicos; divergência genética; espécie nativa.

ABSTRACT

The *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau occurs in some Brazilian biomes, with different potential uses. It is an allogamous species, presenting genetic variability between and within populations. This variability can be estimated through different markers and more recently by means of physiological seed quality. Thus, this study aimed to assess the genetic divergence between *T. caraiba* (Mart.) Bureau matrices from morphometric and physiological seed evaluations. Twenty *T. caraiba* matrices were used, collected from the municipalities of São João do Cariri and Sumé in Paraíba. The fruits were collected and the physical and physiological characteristics of the seeds were analyzed at the Seed Analysis Laboratory at the Federal University of Paraíba. The experiment was conducted using completely randomized design, and the data were submitted to analysis of variance and pooled means by the Scott-Knott test. Estimates of heritability, genetic variance, and the relationship between genetic and environmental coefficients of variation were also calculated. Principal component analysis and divergence quantification were obtained by Mahalanobis distance. The data were grouped using the Gower algorithm. The matrices were grouped by the UPGMA method, using Mojena's criterion to define groups. All analyses were performed assuming that families are half-sibs. Significant differences were observed for seed characteristics in *T. caraiba* matrices, demonstrating variability among these individuals regarding physical and physiological seed characteristics, even under low environmental influence among populations. Seed germination and vigor characteristics are of great relevance for seed technology studies, indicating SJC P03, SJC P04, SJC P11, SJC P16, SJC P17, SJC P18, SJC P19, SJC P20, Sume P01, Sume P04, Sume P08, Sume P11, Sume P18 as superior genotypes, demonstrating quality in the seeds produced. The population of São João do Cariri has a higher number of *T. caraiba* matrices generating vigorous seeds, with the matrices derived from Sumé being those that have greater genetic divergence.

Keywords: genetic divergence; mold-physiological descriptors; multivariate analysis; native species.

5.1 Introdução

A *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau pertence à família botânica Bignoniaceae, com ocorrência em diversos ecossistemas da Caatinga, Cerrado e Pantanal, e pode atingir entre 5-20 m de altura e 60-100 cm de diâmetro. Por possuir elevada capacidade de adaptação a ambientes diversos, esta espécie tem se mostrado apropriada para recuperação de áreas degradadas (PINTO et al., 2017; SILVA et al., 2019).

Estudos têm destacado que substâncias bioativas presentes em espécies do gênero *Tabebuia* são promissoras para utilização como medicamentos, devido suas propriedades antinociceptivas, antiinflamatórias, antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, diuréticas, anticoagulantes e potencializadoras da ação de antibióticos (FERNANDEZ e COCK, 2020). Além disso, fornecem compostos como naftoquinonas, lignanas, iridoides e fenilpropanóides, sendo reportados com propriedades antinociceptivas e antiedematogênicas, capazes de auxiliar no tratamento de células cancerosas, e substâncias fenólicas, como o lapachol, com atividade efetiva no combate a larvas do mosquito *Aedes aegypti* L (BRITO et al., 2020; TAHARA et al., 2020).

Devido ao nível de degradação da Caatinga, espécies com diferentes prospecções de uso neste ambiente devem ser exploradas a partir de técnicas extrativistas sustentáveis, com manutenção de populações preservadas (MAIA et al., 2017). Para isso, estudos sobre variabilidade genética entre e dentro das populações, subsidiam os programas de melhoramento de espécies ainda não domesticadas, bem como contribuem com a conservação dos recursos genéticos vegetais (COSTA et al., 2011; BORGES et al., 2018).

Na Caatinga, a floração, polinização e produção de frutos por espécies arbóreas com dispersão de sementes por anemocoria ocorre no final da estação seca, já que é nessa fase que há a maior velocidade dos ventos e transporte de pólen e sementes (PILON et al., 2015; FELIX, 2019). Árvores de *T. caraiba* possuem biologia reprodutiva com polinização cruzada (alogamia) e mecanismo de autoincompatibilidade de ação tardia, facilitando o fluxo genético entre as árvores e evitando a endogamia (GANDOLPHI e BITTENCOURT, 2010).

A divergência genética pode ser estimada por intermédio de marcadores, como os descritores morfoagronômicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares relativos às plantas (GONÇALVES et al., 2009). No entanto, trabalhos têm concentrado esforços no sentido de caracterizar a divergência genética de árvores matrizes com base na qualidade fisiológica das sementes (MARANHO et al., 2014; MENEGATTI et al., 2017; FELIX et

al., 2020). As variações morfométricas das sementes podem trazer informações acerca do estabelecimento da espécie em novos ambientes e se relacionam diretamente com fatores ambientais e genéticos da espécie (SANTANA et al., 2013; COSTA et al., 2016). As dimensões atingidas pelas sementes ao final da maturação são programadas geneticamente para cada espécie, entretanto, os diferentes ambientes em que as matrizes se encontram podem gerar alterações que, a partir de suas medidas, possibilitam comparar indivíduos e populações da mesma espécie (LIMA et al., 2015; BEWLEY e NONOGAKY, 2017).

O vigor de sementes, avaliado pela intensidade e velocidade do processo de germinação, caracteriza o potencial fisiológico e é utilizado para diferenciar lotes de sementes de diferentes procedências e/ou matrizes, evidenciando a divergência genética existente (OLIVEIRA et al., 2017). De forma semelhante, a análise de características como porcentagem de plântulas normais, porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação podem contribuir para verificar a divergência genética em população de plantas de espécies nativas (MENEGATTI et al., 2017). Contudo, na literatura não há relato de estudos analisando a variabilidade genética de *T. caraiba*, no entanto, pelo disposto acima acredita-se que há divergência genética entre populações meio-irmãs, sendo possível discriminá-las através de caracteres relacionados às suas sementes. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a divergência genética entre matrizes de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau a partir de avaliações morfométricas e fisiológicas de sementes, provenientes de São João do Cariri e Sumé, Paraíba.

5.2 Material e métodos

O estudo de campo foi conduzido nos municípios de São João do Cariri (07° 23' 27" S, 36° 31' 58" W) e Sumé (7° 40' 18" S, 36° 52' 54" W), ambas localizadas no estado da Paraíba, Brasil. Segundo Köppen e Geiger (1928) a classificação do clima é BSh-semiárido quente, com chuvas de verão e, precipitação entre 300 a 600 mm/ano. Em cada área foram selecionadas 20 plantas matrizes de *T. caraiba*, doadoras de sementes, obedecendo a critérios de altura (no mínimo 10 m), diâmetro do caule (maior que 40 cm) e aparência fitossanitária (Tabela 1). Em cada planta matriz frutos foram colhidos quando apresentavam abertura inicial da fenda, e coloração verde acinzentado (MUNSELL, 1976), e encaminhados ao Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal

da Paraíba - UFPB, Campus II, Areia, PB (6° 57'55" S, 35° 42' 55" W), para beneficiamento com extração das suas sementes a partir da abertura dos frutos.

Tabela 1 - Genótipos de *Tabebuia caraiba* (Mart.) Bureau utilizados para análise da variabilidade genética: número, identificação das matrizes, coordenadas e procedência (local da coleta).

Número	Matriz	Longitude	Latitude	Local de coleta
1	SJC P01	W 036° 29.884'	S 07° 25.509'	São João do Cariri
2	SJC P02	W 036° 29.776'	S 07° 25.545'	São João do Cariri
3	SJC P03	W 036° 29.752'	S 07° 25.560'	São João do Cariri
4	SJC P04	W 036° 29.691'	S 07° 25.591'	São João do Cariri
5	SJC P05	W 036° 29.622'	S 07° 25.537'	São João do Cariri
6	SJC P06	W 036° 29.628'	S 07° 25.574'	São João do Cariri
7	SJC P07	W 036° 29.624'	S 07° 25.589'	São João do Cariri
8	SJC P08	W 036° 29.615'	S 07° 25.618'	São João do Cariri
9	SJC P09	W 036° 29.600'	S 07° 25.655'	São João do Cariri
10	SJC P10	W 036° 29.604'	S 07° 25.668'	São João do Cariri
11	SJC P11	W 036° 29.594'	S 07° 25.692'	São João do Cariri
12	SJC P12	W 036° 29.548'	S 07° 25.665'	São João do Cariri
13	SJC P13	W 036° 29.109'	S 07° 25.335'	São João do Cariri
14	SJC P14	W 036° 29.460'	S 07° 25.641'	São João do Cariri
15	SJC P15	W 036° 29.390'	S 07° 25.620'	São João do Cariri
16	SJC P16	W 036° 29.403'	S 07° 25.574'	São João do Cariri
17	SJC P17	W 036° 29.370'	S 07° 25.569'	São João do Cariri
18	SJC P18	W 036° 29.355'	S 07° 25.544'	São João do Cariri
19	SJC P19	W 036° 29.301'	S 07° 25.546'	São João do Cariri
20	SJC P20	W 036° 29.564'	S 07° 25.687'	São João do Cariri
21	Sume P01	W 036° 44.635'	S 07° 45.822'	Sumé
22	Sume P02	W 036° 44.629'	S 07° 45.808'	Sumé
23	Sume P03	W 036° 44.614'	S 07° 45.798'	Sumé
24	Sume P04	W 036° 44.585'	S 07° 45.801'	Sumé
25	Sume P05	W 036° 44.575'	S 07° 45.813'	Sumé
26	Sume P06	W 036° 44.559'	S 07° 45.817'	Sumé
27	Sume P07	W 036° 44.548'	S 07° 45.820'	Sumé
28	Sume P08	W 036° 44.557'	S 07° 45.795'	Sumé
29	Sume P09	W 036° 44.581'	S 07° 45.787'	Sumé
30	Sume P10	W 036° 44.646'	S 07° 45.779'	Sumé
31	Sume P11	W 036° 44.668'	S 07° 45.798'	Sumé
32	Sume P12	W 036° 44.668'	S 07° 45.785'	Sumé
33	Sume P13	W 036° 44.712'	S 07° 45.756'	Sumé
34	Sume P14	W 036° 44.727'	S 07° 45.751'	Sumé
35	Sume P15	W 036° 44.742'	S 07° 45.743'	Sumé
36	Sume P16	W 036° 44.757'	S 07° 45.740'	Sumé
37	Sume P17	W 036° 44.796'	S 07° 45.705'	Sumé
38	Sume P18	W 036° 44.572'	S 07° 45.781'	Sumé
39	Sume P19	W 036° 44.730'	S 07° 45.780'	Sumé

Após o beneficiamento dos frutos, as sementes foram obtidas e realizadas as seguintes determinações e avaliações:

Biometria de sementes: Foram aferidas medidas de comprimento, largura e espessura com o auxílio de paquímetro digital (IP54 Messschieber®), utilizando 45 sementes de cada matriz.

Cor do tegumento das sementes: Avaliada por refletância no espaço de cor CIE-Lab, usando colorímetro Konica Minolta CR-400, com iluminante D65, a partir dos parâmetros de luminosidade, tonalidade e intensidade. Foram realizadas duas leituras em lados opostos da superfície externa de cada uma das 45 sementes, obtendo os valores de luminosidade (L^*), as coordenadas a^* e b^* para determinação da tonalidade, com sua interpretação baseada na variação do ângulo hue [$h^\circ = \tan^{-1}(b/a)$], e ainda a intensidade ou pureza da cor, através da chroma ou saturação, C^* (MCGUIRE, 1992; PATHARE et al., 2013).

Peso de 100 sementes: Obtido através do peso de oito repetições de 100 sementes de cada matriz em balança de precisão analítica (S2202H Bel®), com resultados em gramas.

Teor de água das sementes: Realizado com quatro repetições de 25 sementes por matriz, pelo método da estufa a 105 ± 3 °C (base úmida), durante 24 horas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem.

Germinação: Quatro repetições de 25 sementes por matriz foram desinfestadas em álcool 70% durante 30 segundos e, posteriormente, imersas em solução de hipoclorito de sódio a 2%, por um minuto. As sementes foram dispostas em rolos de papel germitest, acondicionados em sacos plásticos, permanecendo em BOD à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. A avaliação final foi realizada aos 21 dias, de acordo com Brasil (2013).

Primeira contagem de germinação: contabilizou-se a porcentagem de plântulas normais obtidas no décimo dia após a semeadura (BRASIL, 2013); esta avaliação foi realizada em conjunto com o teste de germinação, considerando-se plântulas normais aquelas com todas as suas estruturas essenciais bem desenvolvidas, completas, proporcionais e sadias (BRASIL, 2009).

Índice de velocidade de germinação: determinado por meio de contagens diárias das sementes germinadas com posterior cálculo conforme equação proposta por Maguire (1962).

Emergência: quatro repetições de 25 sementes foram semeadas em bandejas plásticas preenchidas com areia lavada, regadas diariamente, permanecendo em casa de vegetação (27 °C/ 72%). A avaliação foi realizada aos 21 dias, contabilizando-se as plântulas emersas, sendo expressa em porcentagem.

Índice de velocidade de emergência: obtido por meio de contagens diárias das plântulas emersas no teste de emergência, com posterior cálculo conforme equação proposta por Maguire (1962).

Comprimento de parte aérea e raiz: verificado a partir da medição do comprimento da parte aérea e raiz das plântulas normais obtidas no teste de germinação, com auxílio de régua graduada, em centímetros.

Massa seca de parte aérea e raiz: determinada por meio do peso seco da parte aérea e sistema radicular das plântulas obtidas no teste de germinação após secagem em estufa de ventilação forçada, a 65 °C, até que atingissem peso constante, sendo o resultado expresso em gramas.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 20 x 2, sendo 20 plantas matrizes de *T. Caraiba* e dois locais de coleta (São João do Cariri e Sumé). Para todas as características avaliadas foram calculadas as estimativas de herdabilidade, em sentido amplo, variância genética, e a relação entre os coeficientes de variação genética e ambiental, considerando-se que as famílias são de meio-irmãos utilizando o Softwarwe Genes, versão 3.0 (CRUZ, 2013). Os dados das características físicas e fisiológicas das sementes foram plotados em box plot para visualizar a dispersão dos caracteres e submetidos a análise de variância (ANOVA), tendo as médias dos tratamentos agrupadas utilizando o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Além disso, para as características físicas e fisiológicas, os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), e os tratamentos foram plotados em relação aos dois componentes principais (PC1 e PC2).

Para quantificar a divergência genética entre e dentro das populações, os dados médios das características foram utilizados simultaneamente, obtendo-se a matriz da distância usando a distância de Mahalanobis. A partir dessa matriz, foi realizado o agrupamento pelo método hierárquico de agrupamento entre grupos UPGMA (Unweighted

Pair-Group Method Using an Arithmetic Average) e obtido um dendrograma. A consistência dos clusters pelo método hierárquico foi verificada através do método de Mojena (1977). Todas as análises foram realizadas assumindo que as famílias são de meio-irmãos. Também foi realizado teste de Correlação fenotípica para características biométricas, físicas e fisiológicas de sementes (FERREIRA, 2009). As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do Software Gene e aplicados os scripts no software R Studio v 3.5, pacotes *agricolae* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018) e *ggplot2* (WICKHAM, 2016).

5.3 Resultados e discussão

Diferenças significativas foram observadas para todas as características avaliadas, exceto para a germinação, demonstrando ocorrer variabilidade entre as matrizes para os caracteres de sementes, possibilitando selecionar matrizes mais vigorosas além de obter híbridos simples com potencial para recuperação de áreas degradadas, produção de sementes e mudas e seus diversos usos através de cruzamento direcionado entre as matrizes selecionadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância: quadrados médios (QM), herdabilidade ($h^2\%$) e relação coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe) para características de sementes de *Tabebuia caraiba* coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil

F.V.	Características					
	COMP	LARG	ESP	LUM	TON	INT
Tratamentos	3.90*	8.40*	0.39**	53.97*	0.61**	187.43**
h^2 (%)	99.99	99.98	99.97	99.99	99.82	99.89
CVg/CVe	1.10	-	1.20	-	-	0.21
F.V.	PMS	TA	G	PCG	IVG	E
	Tratamentos	9.35*	1.73*	754.92	1401,26**	9.08*
h^2 (%)	99.95	99.99	99.97	99.85	99.86	99.93
CVg/CVe	0.17	-	1.26	0.77	0.25	0.90
F.V.	IVE	CPA	CR	MSPA	MSR	
	Tratamentos	1.30*	3.36**	12.69*	0.58**	0.45*
h^2 (%)	99.79	99.92	99.93	99.75	99.66	
CVg/CVe	-	1.28	-	-	-	

* Significativo ($p < 0,05$); ** Significativo ($p < 0,001$) pelo teste F. Comprimento (COMP); largura (LARG); espessura (ESP); luminosidade (LUM); tonalidade (TON); intensidade (INT); peso de mil sementes (PMS); teor de água (TA); germinação (G); primeira contagem de germinação (PCG); índice de velocidade de germinação (IVG); emergência (E); índice de velocidade de emergência (IVE); comprimento da parte aérea (CPA); comprimento da raiz (CR); massa seca da parte aérea (MSPA); e massa seca da raiz (MSR).

A herdabilidade acima de 70%, em sentido amplo, foi observada para todos os caracteres avaliados, exceto, para a espessura das sementes (51.97%). Esse resultado é importante, pois os caracteres, sob baixa influência ambiental, tornam o processo seletivo facilitado, com menor custo e tempo para seleção de genótipos promissores, tendo em vista que o valor fenotípico para as características torna-se um representante do valor genotípico das matrizes (ROVERI NETO e PAULA, 2017). Assim, é possível recomendar matrizes de *T. caraiba* com base no fenótipo, em função dos elevados valores de herdabilidade.

As estimativas de herdabilidade quantificam a proporção da variância genética que pode ser transmitida para a próxima geração (CRUZ et al., 2020). Dessa forma, fica evidente a possibilidade de ganhos com a seleção, permitindo a seleção de matrizes com base na qualidade física e fisiológica das sementes para uso nos programas de recuperação de áreas degradadas através das mudas.

A relação entre o coeficiente de variação genético e coeficiente de variação ambiental (CV_g/CV_e) foi maior do que 1 para comprimento, largura, espessura, germinação e comprimento da parte aérea. Os valores encontrados para essa relação confirmam a existência de variabilidade genética para essas características, e reforçam os indicativos de que grande parte da variação total observada é de natureza genética, enquanto que valores próximos a 0,0 indicam condição desfavorável à seleção (MORAES et al., 2015).

Diferenças significativas foram observadas para as características físicas das sementes, entre as populações de São João do Cariri e Sumé (Figura 1A-H). Dentre essas características, foi possível visualizar maior variabilidade na tonalidade da cor das sementes, sobretudo nas sementes coletadas em Sumé (Figura 1F).

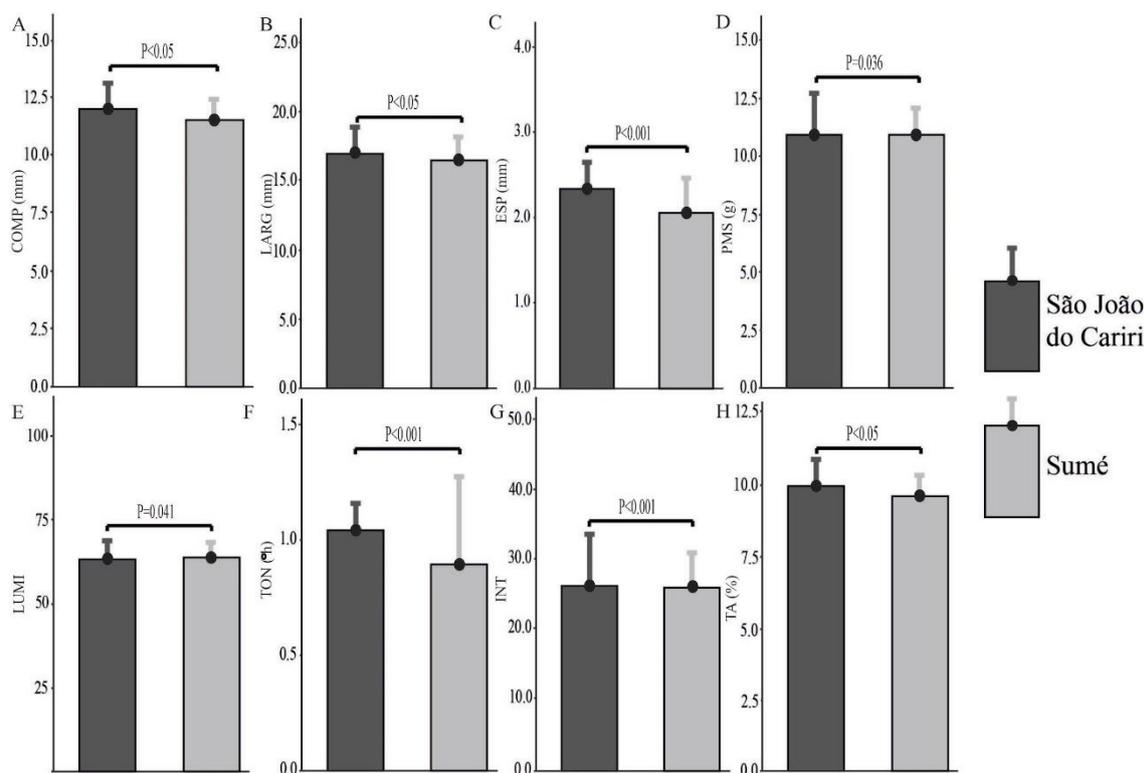


Figura 1 - Características físicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 20 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil. A= comprimento (COMP); B= largura (LARG); C= espessura (ESP; D= peso de mil sementes (PMS); E= luminosidade (LUMI); F= tonalidade (TON); G= intensidade (INT); e H= teor de água (TA). Valor de P obtido pelo teste F da análise de variância.

No que se refere às características fisiológicas das sementes, diferenças significativas entre populações foram visualizadas para todas as características em estudo, exceto germinação (Figura 2 A-I). O comprimento da parte aérea e massa seca da raiz foram maiores para população de Sumé de com proporções de 31,5 e 16,6% respectivamente (Figura 2F e I). A primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação, foram maiores nas matrizes coletadas em São João do Cariri com diferenças de 16,3 e 11,2%, respectivamente, em relação às matrizes de Sumé (Figura 2A e C).

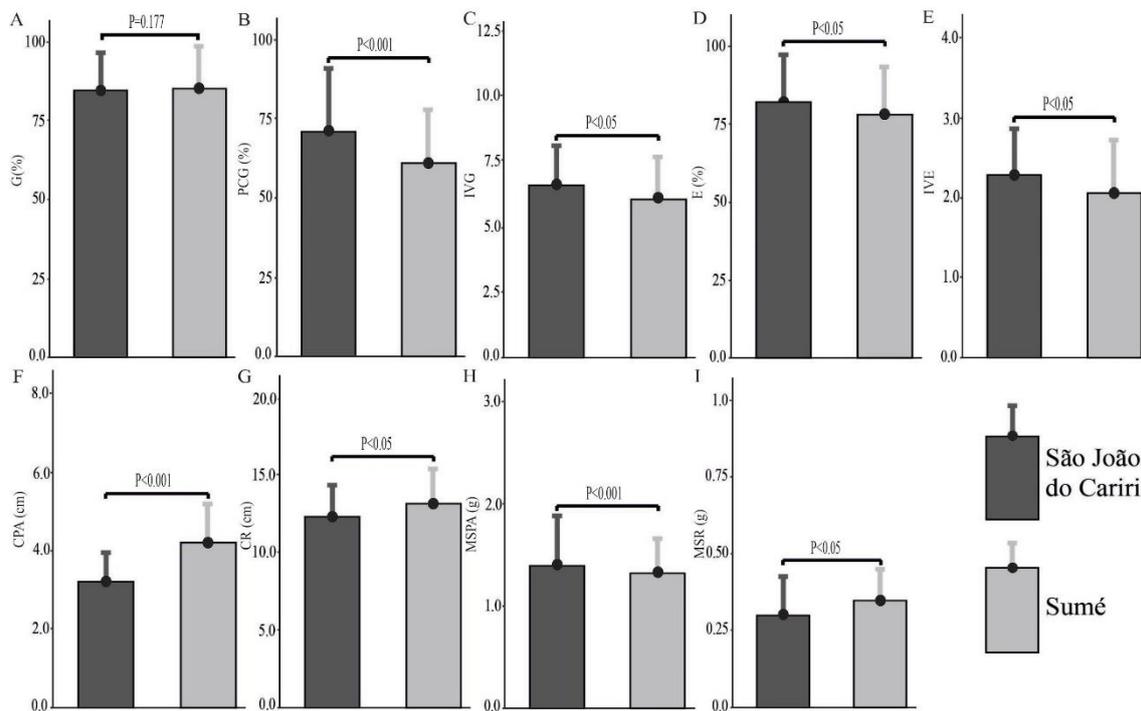


Figura 2 - Características fisiológicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 20 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil. A= germinação (G); B= primeira contagem de germinação (PCG,); C= índice de velocidade de germinação (IVG); D= emergência (EE= índice de velocidade de emergência (IVE); F= comprimento da parte aérea (CPA); G= comprimento da raiz (CR); H= massa seca da parte aérea (MSPA); I= massa seca da raiz (MSR). Valor de P obtido pelo teste F da análise de variância.

A análise realizada entre as matrizes em ambos os locais propiciou a formação de três a dez grupos distintos conforme a característica analisada (Tabela 3). O grande número de grupos indica ampla variabilidade genética entre as matrizes de *T. caraiba* com base nas características físicas e fisiológicas das sementes.

As características largura das sementes, tonalidade e peso de mil sementes, apresentaram maior variabilidade entre as matrizes, com a formação de 10 grupos, variando de 12,94 mm (SJC P19) a 20,95 mm (SJC P11); 0,16 (SJC P20) a 1,34 (SJC P18) e 8,36 g (SJC P15) a 14,77 g (SJC P16), respectivamente. Essa variação se deve principalmente à elevada variabilidade genética populacional, abrindo a perspectiva para exploração dessas matrizes visando a produção de sementes de qualidade física superior. Estudos reali-

zados com *Ceiba speciosa* A. St.-Hill, também apontam elevada variabilidade entre árvores matrizes dessa espécie quanto às características biométricas de frutos e sementes, e ainda a baixa influência ambiental nessas características (ROVERI NETO e PAULA, 2017).

As matrizes SJC P04 (13,70 mm) e SJC P14 (14,20 mm) foram caracterizadas com os maiores valores para o comprimento das sementes, enquanto as matrizes SJC P01 (13,70 mm), SJC P07 (10,56 mm), SJC P19 (10,00 mm), Sume P03 (10,46 mm), Sume P09 (10,50 mm) e Sume P19 (10,06 mm) apresentaram as menores sementes, com a formação de seis grupos distintos. Características relacionadas ao tamanho e peso da semente são indicadoras da deposição de reservas durante a formação e maturação da semente, e geralmente possuem importância evidenciada no momento da germinação, tendo em vista que são estas reservas que serão mobilizadas para gerar energia até o estabelecimento das primeiras folhas da planta em campo (TAIZ et al., 2017). Assim, maiores quantidades de reserva aumentam a probabilidade de sucesso no estabelecimento da plântula, sendo características importantes na avaliação e seleção de matrizes em populações nativas.

Em relação à intensidade da cor das sementes, foi observada a formação de sete grupos, com os maiores valores médios observados para os genótipos SJC P20 (47,78) e SJC P17 (44,68). A cor de sementes, avaliada pela coloração do tegumento, tem sido verificada em espécies cultivadas relacionada à presença de determinados compostos químicos, geralmente ligados à nutrição humana ou animal, a exemplo das antocianinas, carotenóides e lignina em sementes mais escuras (SILVA et al., 2012; BAHRY et al., 2015). Em espécies nativas essa característica tem destaque devido sua relação com a indicação de substâncias bioativas de interesse da indústria farmacêutica, como os compostos fenólicos, fazendo da biotecnologia um possível uso dessa espécie (ZAHRA'U et al., 2014; WAJS- BONIKOWSKA et al., 2016; KOHYAMA et al., 2017; SHARMA et al., 2020).

Cinco grupos foram formados para a característica espessura da semente, com os maiores valores médios para as matrizes SJC P20 (3,09 mm) e Sume P10 (3,00 mm). A variabilidade genética visualizada dentre as matrizes é reflexo da ausência de melhoramento genético devido a ausência de domesticação da espécie. Além disso, fatores nutricionais e fisiológicos, relacionados à alocação de fotoassimilados, influenciam diretamente no processo germinativo das sementes de espécies florestais nativas do Brasil (SANTOS et al., 2009; BEWLEY e NONOGAKI, 2017).

Tabela 3 - Médias de características físicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil.

Matrizes	Características							
	COMP	LARG	ESP	LUM	TON	INT	PMS	TA
SJC P01	10,61f	16,46f	2,33b	63,69b	1,14c	22,66f	9,26h	10,29a
SJC P02	11,50d	17,46e	2,39b	60,44c	1,18b	24,95f	10,60g	10,51a
SJC P03	11,21e	13,83i	2,12c	65,24b	1,27a	27,15e	11,90e	10,60a
SJC P04	13,70a	18,95c	2,10c	63,17c	1,08c	23,37f	10,83g	10,79a
SJC P05	13,02b	18,26d	2,41b	65,86b	1,24b	25,51f	10,91g	8,87b
SJC P06	11,48d	15,70g	2,32b	65,71b	1,20b	23,93f	10,84g	9,66b
SJC P07	10,56f	15,77g	2,52b	63,79b	1,03d	23,18f	9,50h	10,43a
SJC P08	12,62c	19,91b	2,39b	61,97c	0,89e	22,28g	11,42f	11,23a
SJC P09	12,45c	18,18d	2,25c	63,04c	1,14c	23,11f	9,71h	10,60a
SJC P10	11,97c	16,00g	2,11c	62,52c	1,05d	25,20f	9,65h	10,27a
SJC P11	11,50d	20,95a	2,32b	56,69c	0,89e	21,67g	12,60c	10,27a
SJC P12	12,14c	15,79g	2,40b	68,30b	1,18b	24,21f	8,99i	9,77b
SJC P13	11,54d	14,69h	2,49b	60,26c	1,18b	23,88f	9,16i	10,49a
SJC P14	14,20a	17,34e	2,32b	62,98c	1,09c	22,46g	9,37h	9,01b
SJC P15	13,33b	16,17f	2,15c	71,10b	1,31a	24,59f	8,36j	10,97a
SJC P16	12,29c	16,16f	2,34b	60,58c	0,82f	18,42h	14,77a	7,41c
SJC P17	11,95c	17,03f	2,16c	91,19a	0,27i	44,68b	14,09b	9,26b
SJC P18	12,94b	18,51d	2,49b	60,58c	1,34a	26,02e	12,27d	10,18a
SJC P19	10,00f	12,94j	1,71d	91,19a	1,25b	24,32f	12,57c	8,95b
SJC P20	13,26b	19,10c	3,09a	52,28c	0,16j	47,78a	12,81c	9,33b
Sume P01	12,30c	16,73f	2,26b	65,90b	1,19b	23,28f	12,77c	9,65b
Sume P02	12,17c	16,42f	2,17c	66,11b	1,23b	22,77f	9,50h	9,23b
Sume P03	10,46f	15,33g	2,12c	64,40b	1,00d	29,81d	9,09i	10,05a
Sume P04	11,78d	17,65e	1,97c	59,33c	1,02d	21,20g	11,89e	6,62b
Sume P05	12,17c	18,19d	2,13c	65,86b	1,12c	21,41g	9,59h	10,17a
Sume P06	11,72d	16,23f	2,16c	67,12b	0,48g	27,94e	9,56h	10,08a
Sume P07	11,73d	15,90g	2,10c	56,37c	0,29i	29,69d	10,52g	9,14b
Sume P08	11,66d	16,02g	2,11c	61,69c	0,53g	30,99d	11,71e	9,64b
Sume P09	10,50f	18,23d	2,16c	60,02c	0,17j	39,61c	10,56g	9,17b
Sume P10	11,98c	18,03d	3,00a	65,16b	1,20b	27,29e	9,80h	9,98a
Sume P11	11,16e	15,42g	2,30b	69,71b	1,22b	20,88g	11,52f	9,12b
Sume P12	12,50c	17,33e	2,06c	60,80c	1,11c	23,69f	12,88c	9,10b
Sume P13	11,70d	18,00d	1,89d	59,61c	1,08c	23,68f	11,34f	10,41a
Sume P14	12,44c	17,03f	2,33b	72,17b	1,23b	21,12g	9,61h	9,79b
Sume P15	11,80d	16,26f	2,10c	62,53c	1,14c	22,89f	10,92g	9,48b
Sume P16	11,22e	17,01f	2,20c	67,03b	1,22b	24,72f	11,69e	9,71b
Sume P17	11,22e	16,35f	1,75d	60,57c	0,42h	27,76e	11,29f	9,55b
Sume P18	11,14e	16,53f	2,01c	63,81b	1,09c	23,14f	11,11f	9,42b
Sume P19	10,06f	16,54f	1,53e	63,81b	0,77f	24,78f	12,26d	9,86a
Sume P20	11,05e	15,53g	2,51b	65,63b	0,39h	31,33d	9,67h	9,16b
CV (%)	8,02	9,38	13,65	6,67	35,73	23,70	12,79	7,28

Comprimento (COMP, em mm); largura (LARG, em mm); espessura (ESP, em mm);

luminosidade (LUM); tonalidade (TON, em °h); intensidade (INT, em graus); peso de mil sementes (PMS, em g); e teor de água (TA, em %) de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p=0,05$). Valores destacados em negrito correspondem a 20% das matrizes selecionadas para cada caractere.

Varição significativa foi observada para todas as características fisiológicas avaliadas, com menor número de grupos formados nos caracteres porcentagem de germinação, primeira contagem de germinação e porcentagem de emergência, com a diferenciação em cinco grupos (Tabela 4). As matrizes SJC P03, SJC P04, SJC P11, SJC P16, SJC P17, SJC P18, SJC P19, Sume P01, Sume P04, Sume P08, Sume P11, Sume P12, Sume P16, Sume P17, Sume P18 e Sume P19 apresentaram 100% de germinação.

Destaca-se, ainda, que a matriz SJC P19, além de germinação, foi caracterizada com elevados valores para as características primeira contagem de germinação (100%), índice de velocidade de germinação e emergência com 9,70 e 100%, respectivamente. De forma contrária, sementes provenientes da matriz Sumé P20 apresentaram baixos valores para essas características (Tabela 4). O resultado da germinação é parâmetro para a avaliação da viabilidade da semente em condições controladas e, quando relacionada aos resultados das características que definem o vigor é possível estimar a possibilidade do êxito da plântula em campo, pois passa a levar em consideração as condições climáticas naturais (MARCOS-FILHO, 2015; ORNELLAS et al., 2020). Dessa forma, a avaliação integrada de características de germinação e vigor é de grande relevância para o estudo da tecnologia de sementes, indicando as matrizes SJC P17, SJC P19, SJC P20 e Sumé P08 como genótipos superiores, demonstrando qualidade nas sementes produzidas, seja para a obtenção de mudas ou mesmo para compor lotes de sementes a serem armazenados, contribuindo para a conservação *ex situ* da espécie (MATHEUS et al., 2011; HAZEKAMP et al., 2014).

Na avaliação das características índice de velocidade de emergência e comprimento da parte radicular, foi observada a formação de seis grupos cada. No entanto, foi na avaliação dos índices de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz que foram observadas as maiores variabilidades entre as matrizes de *T. caraiba* avaliadas, destacando-se a matriz SJC P20 com elevados valores nestas características. Varição significativa foi observada para todas as características fisiológicas avaliadas, com menor número de grupos formados nos caracteres porcentagem de germinação, primeira contagem de germinação e

porcentagem de emergência, com a diferenciação em cinco grupos (Tabela 4). As matrizes SJC P03, SJC P04, SJC P11, SJC P16, SJC P17, SJC P18, SJC P19, Sume P01, Sume P04, Sume P08, Sume P11, Sume P12, Sume P16, Sume P17, Sume P18 e Sume P19 apresentaram 100% de germinação.

Destaca-se, ainda, que a matriz SJC P19, além de germinação, foi caracterizada com elevados valores para as características primeira contagem de germinação (100%), índice de velocidade de germinação e emergência com 9,70 e 100%, respectivamente. De forma contrária, sementes provenientes da matriz Sumé P20 apresentaram baixos valores para essas características (Tabela 4). O resultado da germinação é parâmetro para a avaliação da viabilidade da semente em condições controladas e, quando relacionada aos resultados das características que definem o vigor é possível estimar a possibilidade do êxito da plântula em campo, pois passa a levar em consideração as condições climáticas naturais (MARCOS-FILHO, 2015; ORNELLAS et al., 2020). Dessa forma, a avaliação integrada de características de germinação e vigor é de grande relevância para o estudo da tecnologia de sementes, indicando as matrizes SJC P17, SJC P19, SJC P20 e Sumé P08 como genótipos superiores, demonstrando qualidade nas sementes produzidas, seja para a obtenção de mudas ou mesmo para compor lotes de sementes a serem armazenados, contribuindo para a conservação *ex situ* da espécie (MATHEUS et al., 2011; HAZEKAMP et al., 2014).

Na avaliação das características índice de velocidade de emergência e comprimento da parte radicular, foi observada a formação de seis grupos cada. No entanto, foi na avaliação dos índices de velocidade de germinação, comprimento da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz que foram observadas as maiores variabilidades entre as matrizes de *T. caraiba* avaliadas, destacando-se a matriz SJC P20 com elevados valores nestas características.

. Na avaliação das plântulas resultantes das sementes, o maior comprimento da parte aérea foi registrado na matriz Sume P08 (5,97 cm), que não diferiu das matrizes Sume P14 e Sume P20. Plântulas com menor comprimento de parte aérea foram geradas em sementes provenientes das matrizes SJC P08, SJC P10, SJC P03 e SJC P15, tendo essa última matriz o menor comprimento (2,10 cm), que também obteve valores inferiores para comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz.

Características como comprimento e massa seca da plântula inferem o vigor da semente, isto porque, para que haja a formação de uma plântula normal, o fornecimento

de nutrientes a partir da mobilização de reservas, localizadas principalmente nos cotilédones, deve ocorrer de forma eficiente (MARCOS FILHO, 2015).

Tabela 4 - Médias de características fisiológicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri (SJC) e Sumé, Paraíba, Brasil.

Matrizes	Características								
	G	PCG	IVG	E	IVE	CPA	CR	MSPA	MSR
SJC P01	74,2d	58,5d	5,56e	65,0d	1,64e	2,74g	15,5b	1,21d	0,20f
SJC P02	83,5c	63,0c	5,63e	62,0d	1,57e	2,78g	14,5b	1,79b	0,39c
SJC P03	97,0a	77,0b	7,73b	95,5a	2,67c	2,21h	11,8d	1,96a	0,36d
SJC P04	96,0a	88,0a	7,65b	83,0b	2,31c	3,51e	11,9d	1,66c	0,29e
SJC P05	85,0b	52,5d	8,34b	86,0b	2,00d	3,59e	13,1c	1,53c	0,28e
SJC P06	79,0c	76,0b	6,10d	78,0c	2,12d	2,70g	13,0c	1,15d	0,19g
SJC P07	79,5c	78,0b	6,63c	79,0c	2,15d	3,59e	12,5d	0,99e	0,16g
SJC P08	90,0b	76,0b	7,28b	83,0b	2,13d	2,33h	13,0c	1,83b	0,37d
SJC P09	76,5c	67,0c	5,77e	88,0a	3,25a	2,93g	13,7c	0,86f	0,21f
SJC P10	81,0c	72,0c	6,43d	75,5c	1,84d	2,33h	13,7c	1,20d	0,24f
SJC P11	97,5a	93,0a	7,74b	97,0a	2,71c	3,51e	10,3e	1,76b	0,39c
SJC P12	76,5c	76,0b	5,93d	92,0a	2,57c	3,68e	12,3d	1,11d	0,24f
SJC P13	67,0d	53,0d	3,98g	78,5c	2,15d	4,05d	13,7c	0,65g	0,14g
SJC P14	74,0d	49,0d	4,64f	67,0d	2,55d	3,10f	10,2e	1,24d	0,30e
SJC P15	73,0d	14,0e	3,86g	43,5e	0,75f	2,10h	07,6f	0,32h	0,03h
SJC P16	98,0a	64,0c	6,29d	99,0a	2,99b	3,56e	11,7d	1,54c	0,33d
SJC P17	96,0a	88,0a	6,72c	90,0a	2,27b	3,19f	10,8e	1,97a	0,41c
SJC P18	94,0a	72,0c	7,23b	91,0a	2,57b	3,38e	11,1e	1,70c	0,41c
SJC P19	100,0a	100,0a	9,70a	100,0a	2,60b	3,98d	12,5d	1,90a	0,37d
SJC P20	92,0b	88,0a	7,46b	88,0a	2,75b	4,58c	12,5d	1,93a	0,60a
Sume P01	96,0a	79,0b	6,82c	83,0b	1,96d	3,10f	11,29e	1,79b	0,39c
Sume P02	70,5d	61,0c	3,01h	91,0a	3,05b	3,07f	11,9d	1,27d	0,33d
Sume P03	89,0b	63,0c	4,62f	86,0b	2,82b	2,90g	08,2f	1,56c	0,40c
Sume P04	98,0a	65,0c	5,22e	86,5b	2,83b	4,33c	15,5b	1,61c	0,47b
Sume P05	79,5c	63,0c	5,95d	68,0d	2,20d	3,76e	10,4e	1,31d	0,36d
Sume P06	77,5c	71,0c	6,18d	73,5c	1,94d	4,08d	12,4d	1,10d	0,27e
Sume P07	75,5d	67,0c	5,27e	69,5d	1,51e	4,84b	14,6b	0,95e	0,23f
Sume P08	96,0a	60,0c	7,18b	95,5a	3,24a	5,97a	15,7b	1,46c	0,45b
Sume P09	92,0b	82,0b	6,72c	88,5a	1,88d	4,08d	13,1c	1,22d	0,29e
Sume P10	80,0c	52,0d	5,26e	47,5e	1,29e	2,78g	13,6c	1,55c	0,45b
Sume P11	95,0a	75,0b	7,35b	85,0b	2,54c	5,35b	14,8b	1,61c	0,47b
Sume P12	94,0a	51,0d	7,19b	86,0b	2,11d	4,04d	13,6c	1,42c	0,23f
Sume P13	86,0b	62,0c	6,20d	78,5c	1,78d	5,02b	12,0d	1,67c	0,45b
Sume P14	52,0e	50,0d	3,84g	48,0e	1,27e	5,60a	17,4a	0,93e	0,37d
Sume P15	86,0b	41,0d	7,25b	74,5c	2,07d	3,90d	12,2d	1,27d	0,28e
Sume P16	98,0a	69,0c	7,81b	85,0b	2,54c	3,78e	11,7d	1,60c	0,37d
Sume P17	94,0a	52,0d	7,73b	73,5c	1,56e	4,37c	11,4e	0,66g	0,16g
Sume P18	96,0a	52,0d	6,84c	85,5b	2,06d	4,46c	12,9c	1,56c	0,41c
Sume P19	93,5a	78,0b	6,95c	84,0b	1,56e	3,68e	14,0c	1,13d	0,38c
Sume P20	57,0e	15,0e	2,48h	38,5e	0,81f	5,09a	15,2b	0,69g	0,14g
CV (%)	6,89	11,41	8,46	8,82	10,6	9,22	8,77	8,43	11,71

Germinação (G, em %); primeira contagem de germinação (PCG, em %); índice de velocidade de germinação (IVG); emergência (E, em %); índice de velocidade de emergência (IVE); comprimento da parte aérea (CPA, em cm); comprimento da raiz (CR, em cm); massa seca da parte aérea (MSPA, em g); e massa seca da raiz (MSR, em g), de plântulas e sementes de *Tabebuia caraiba*

oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p= 0,05$). Valores destacados em negrito correspondem a 20% das matrizes selecionadas para cada caractere.

A partir da análise de componentes principais foi possível observar que os dois primeiros componentes explicam 100% da variabilidade total (Figura 3A). Para o PC1 as principais cargas fatoriais com potência de discriminação foram germinação, emergência, massa seca da parte aérea, peso de mil sementes, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, massa seca da raiz e índice de velocidade de emergência, totalizando 79,5% de contribuição com o eixo. Para o PC2 foram tonalidade, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, intensidade e teor de água com 59,6% de contribuição para o componente (Figura 3B, C). Caracteres como espessura, comprimento e largura exibiram baixa contribuição para ambos os componentes (Figura 3D).

Cada componente principal é uma combinação linear de todas as características originais, e na avaliação com o uso dessa ferramenta busca-se que os dois primeiros componentes principais concentrem a maior quantidade de variância dos dados para que haja divergência entre os grupos das matrizes (CRUZ et al., 2011; HONGYU et al., 2015). Estudos com espécies nativas tem demonstrado a eficácia do uso dessa análise na avaliação da diversidade genética (VIEIRA et al., 2014; COSTA et al., 2016).

É importante destacar que a reduzida contribuição das características relacionadas à biometria de sementes para a divergência genética pode indicar que essas características não devem ser priorizadas durante a seleção das matrizes de *T. caraiba* doadoras de sementes. A eliminação de características com baixa contribuição para a divergência ou que estão fortemente correlacionadas a outras características é recomendada, pois otimiza a caracterização de recursos genéticos, reduz custos operacionais e aumenta a eficiência dessa atividade (CRUZ et al., 2012; BORGES et al., 2018).

A dispersão das matrizes em função dos dois primeiros componentes, que consta no gráfico biplot, demonstrou que cinco matrizes (SJC P11, SJC P16, SJC P17, SJC P19 e SJC P20), coletadas em São João do Cariri, se destacaram em relação ao conjunto avaliado, sendo influenciado principalmente pelos caracteres fisiológicos das sementes, ao passo que a SJC15 e Sume P20, dispersaram separadamente, influenciadas pelo comprimento da raiz, teor de água e caracteres de cor (Figura 3D, E).

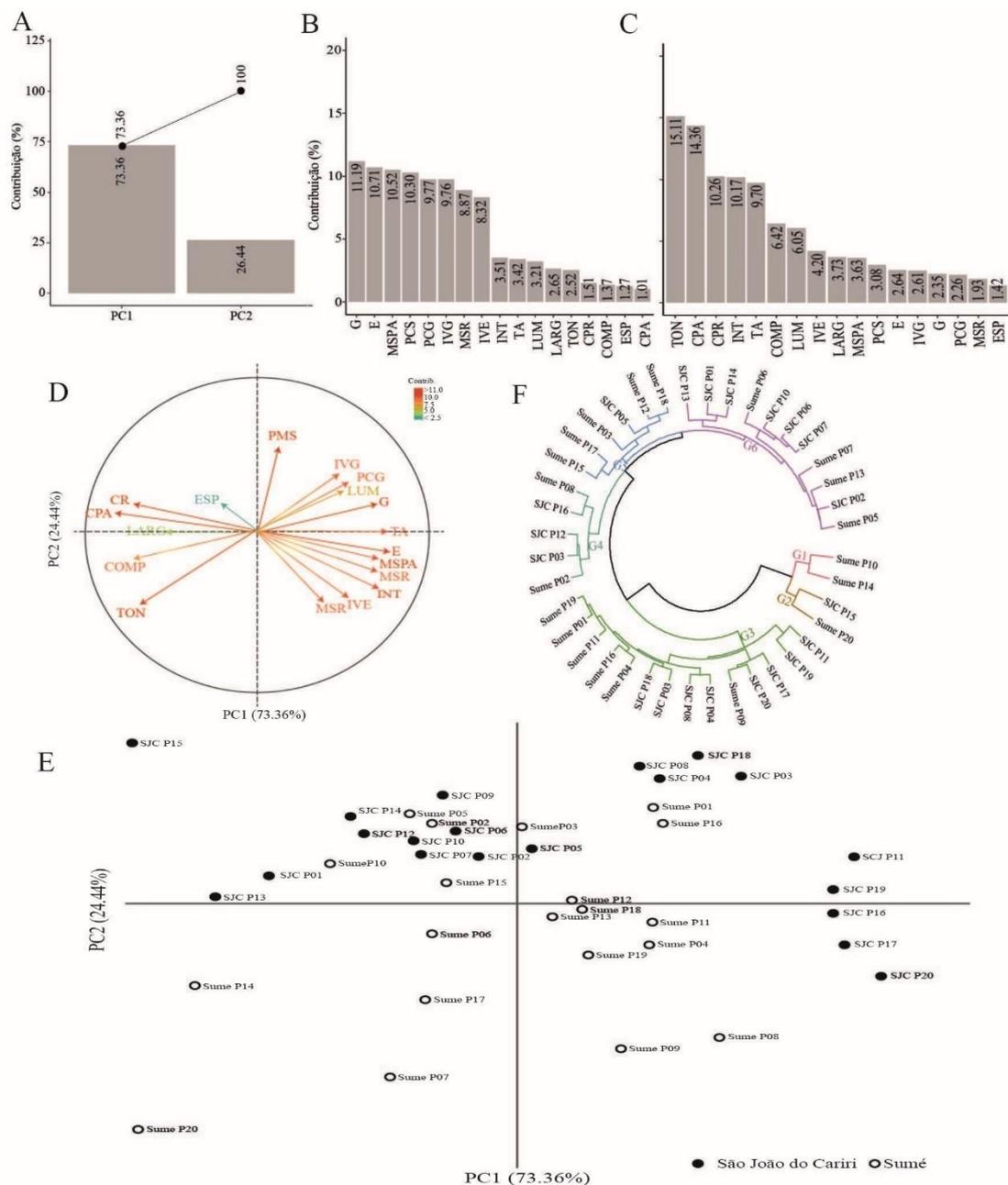


Figura 3 - Variação total acumulada para contribuição dos componentes principais nas características físicas e fisiológicas (A), contribuição relativa para os componentes principais PC1 e PC2 das características físicas e fisiológicas (B, C e D), dispersão dos tratamentos (E) nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) e dendrograma obtido pelo método de agrupamento UPGMA utilizando a distância de Mahalanobis (F) para atributos biométricos, físicos e fisiológicos de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil. As setas representam a direção da característica e as cores do gradiente representam a contribuição de cada característica para os componentes. Do azul ao vermelho: contribuições baixas a altas.

As matrizes que apresentaram a maior dispersão são as mais indicadas para seleção por apresentarem variabilidade para os caracteres de sementes avaliados. Num programa de silvicultura, a seleção de matrizes dentro das populações com base em análise de diversidade genética, tende a aumentar a variabilidade na área de plantio, diminuindo os possíveis riscos associados, como a suscetibilidade dos plantios clonais e ao ataque de pragas e doenças (SANTOS et al., 2006). Isto porque dentro de uma mesma espécie, existem variações individuais entre árvores devido às influências ambientais durante o desenvolvimento das sementes e a alta variabilidade genética (MONTEIRO et al., 2016).

A análise de Cluster utilizando a distância de Mahalanobis e agrupamento pelo método UPGMA possibilitou a formação de seis grupos (Figura 3F). Os grupos G1 e G2 foram formados pelas matrizes divergentes de Sumé e São João do Cariri, respectivamente. O grupo G3 é o maior grupo formado, sendo composto majoritariamente por matrizes derivadas de São João do Cariri (57. 14%). Os grupos G4 e G5 apresentam mais representantes das matrizes de Sumé, já o G6 abriga majoritariamente matrizes derivadas de São João do Cariri. A partir da análise do dendograma pode-se observar maior divergência na disposição das matrizes derivadas de Sumé, corroborando o observado na análise de componentes principais.

O coeficiente de correlação cofenética foi de 87%, indicando um bom ajuste entre a matriz de distância original e a matriz de agrupamento (CRUZ et al., 2014), possibilitando a realização de inferências por meio da avaliação visual da figura. A variação encontrada entre matrizes de *T. caraiba*, com base nas características físicas e fisiológicas, evidencia a divergência genética. O uso da análise de características de sementes em estudos de diversidade genética também demonstrou a variabilidade entre matrizes de *Mimosa scabrella* Benth., assim como de matrizes de *Casearia grandiflora* Cam. (COSTA et al., 2016; MENEGATTI et al., 2017). Estudos dessa natureza contribuem para facilitar a seleção de matrizes fornecedoras de sementes de qualidade elevada, contendo características que atendam às necessidades demandadas em seus diversos usos (CORREIA et al., 2019).

As características biométricas (comprimento, largura e espessura) foram caracterizadas com baixa correlação às características de germinação e vigor (Figura 4). Assim, a caracterização de genótipos de *T. caraiba*, a partir dessas características, é ineficiente quando se objetiva selecionar matrizes doadoras de sementes para uso em programas de mudas para reflorestamento, e também conservação em bancos de sementes, já que nestes

casos é preponderante que sementes colhidas tenham elevado vigor. Esse fato pode estar relacionado a elevada herdabilidade entre as matrizes. Estudos desenvolvidos com as espécies florestais *C. grandiflora* e *C. speciosa* ressaltam comportamento contrario ao observado, justificado na variação da dinâmica populacional e a influência da disponibilidade de água e quantidade de nutrientes no solo (COSTA et al., 2016; ROVERI NETO e PAULA, 2017).

Os maiores valores de correlações positivas foram observados entre as características emergência x índice de velocidade de emergência ($r = 0,82$), peso de mil sementes x germinação ($r = 0,75$), peso de mil sementes x massa seca da parte aérea ($r = 0,65$), massa seca da parte aérea x primeira contagem de germinação ($r = 0,62$) e evidenciando uma forte associação entre essas características.

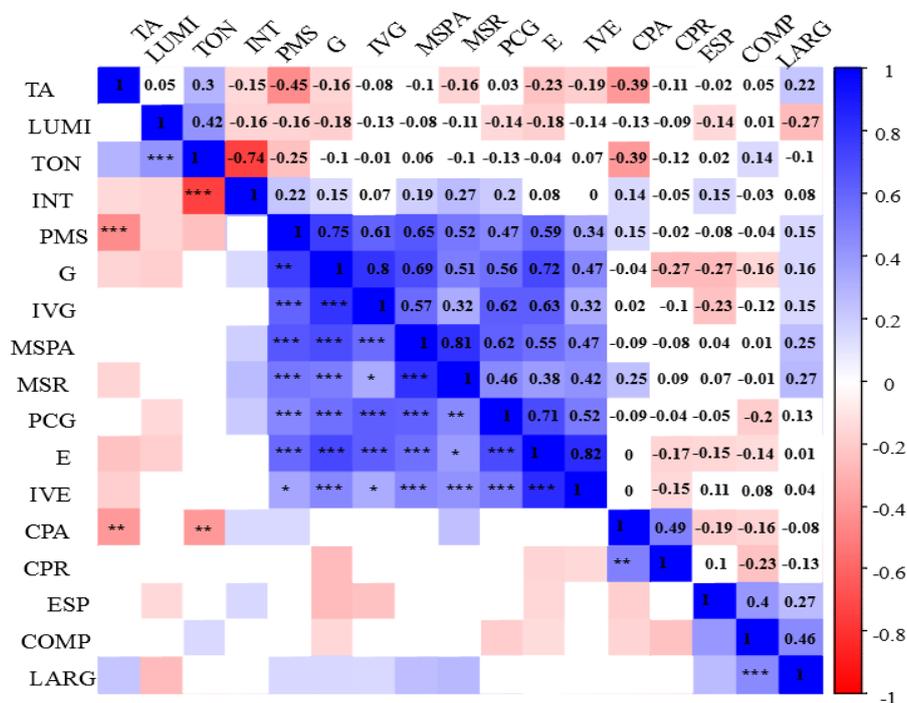


Figura 4 - Correlação para características biométricas, físicas e fisiológicas de sementes de *Tabebuia caraiba* oriundas de 40 plantas matrizes coletadas em São João do Cariri e Sumé, Paraíba, Brasil.

Essa correlação indica a possibilidade de se obter sementes de *T. caraiba* de elevada qualidade fisiológica com a seleção de sementes mais pesadas. O alto valor de herdabilidade, apresentado por essas características, potencializa a eficiência na seleção com base nessa correlação (GILES et al., 2016). Dessa forma, é possível identificar as carac-

terísticas de sementes com maior importância, sendo, portanto, indispensáveis para o estudo da divergência entre matrizes de *T. caraiba*.

5.4 Conclusões

Há variabilidade entre árvores matrizes de *T. caraiba* quanto às características físicas e fisiológicas de sementes e estas encontram-se sob baixa influência ambiental.

Dentre a população de *T. caraiba* estudada, treze das 40 matrizes, sendo oito de São João do Cariri (SJC P03, SJC P04, SJC P11, SJC P16, SJC P17, SJC P18, SJC P19 e SJC P20) e cinco de Sumé (Sume P01, Sume P04, Sume P08, Sume P11 e Sume P18), são recomendadas como fornecedoras de sementes com base na qualidade fisiológica superior e na dissimilaridade genética.

A população de São João do Cariri possui maior número de matrizes de *T. caraiba* com potencial para gerar sementes vigorosas, sendo as matrizes derivadas de Sumé as que apresentam maior variabilidade nas características estudadas.

REFERÊNCIAS

- BAHRY, C.A.; SANTOS, A.T.; FERNANDO, J.A.; CHAVES, F.C.; NARDINO, M.; ZIMMER, P.D. Chemical composition and structural characterization of contrasting colors of soybean seed coats. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 1913-1925, 2015.
- BEWLEY, J.D.; NONOGAKI, H. Seed maturation and germination. **Reference Module in Life Sciences**, pp. 623– 626, 2017
- BORGES, R.O.; ANTONIO, R.P.; DA SILVA NETO, J.L.; DE SA LIRA, I.C. Intra-and interspecific genetic divergence in *Macroptilium* (Benth.) Urb.: a forage option for Brazilian semiarid. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 66, n. 2, p. 363-382, 2019.
- BRASIL, **Instruções para análise de sementes de espécies florestais**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2013. 98p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS5 2009. 395 p.
- BRITO, M.C.A.; PEREIRA, L.P.L.A.; GUIMARÃES, S.J.A.; CASTRO JÚNIOR, J. R.; CHAGAS, V.T. Bioprospection of *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. Hook. f. ex S. Moore: Chemical, Biological and Toxicity Studies. **Preprints 2020**, 2020010249.
- CORREIA, L.A.D.S.; FELIX, F.C.; ARAÚJO, F.D.S.; FERRARI, C.D.S.; PACHECO, M.V. Morphometric Descriptors and Physiological Seed Quality For Selecting *Aspidosperma pyrifolium* Mart. Matrix Trees. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 751-759, 2019.
- COSTA, M.F.; LOPES, A.C.D.A.; GOMES, R.L.F.; ARAÚJO, A.S.F.D.; ZUCCHI, M.I.; PINHEIRO, J.B.; VALENTE, S.E.D.S. Caracterização e divergência genética de populações de *Casearia grandiflora* no Cerrado piauiense. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 387-396, 2016.
- COSTA, T.S.; SILVA, A.V.C.; LÉDO, A.S.; SANTOS, A.R.F.; SILVA-JÚNIOR, J.F.S. Diversidade genética de acessos do banco de germoplasma de mangaba em Sergipe. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v. 46, n. 5, p. 499-508, 2011.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas**. 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2014.
- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n 3, p. 271–276, 2013. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3.ed.Viçosa, UFV. 508 p. 2012.
- CRUZ, C.D.; FERREIRA, F.M.; PESSONI, L.A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Minas Gerais: Suprema Gráfica Editora; 2011.
- CRUZ, S.L.; PEDROZO, C.A.; OLIVEIRA, V.X.A.; SILVA, A.M.; RESENDE,

M.D.V.; GONÇALVES, D.A. Parâmetros genéticos e seleção inicial de procedências e progênies de taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) em Roraima. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 258-269, 2020.

FELIX, F.C. **Conservação in situ de indivíduos de *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & RW Jobson para seleção de árvores matrizes** (Master's thesis, Brasil). 2019.

FELIX, F.C.; DE MEDEIROS, J.A.D.; FERRARI, C.D.S.; VIEIRA, F.D.A.; PACHECO, M.V. Biometry of *Pityrocarpa moniliformis* seeds using digital imaging: implications for studies of genetic divergence. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, 2020.

FERNANDEZ, A.; COCK, I. E. *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC. Mattos) bark extracts inhibit the growth gastrointestinal bacterial pathogens and potentiate the activity of some conventional antibiotics. **Pharmacognosy Communications**, v. 10, n. 2, p. 75- 82, 2020.

FERREIRA, D.F. **Estatística básica**. 2.ed. Lavras, UFLA. 664 p. 2009.

GANDOLPHI, G.; BITTENCOURT, JR. N.S. Sistema reprodutivo do Ipê-Branco: *Tabebuia roseo-alba* (Ridley) Sandwith (Bignoniaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 3, p. 840-851, 2010.

GILES, J.A.D.; OLIARI, L.S.; ROCHA, A.C.B.; SCHMILT, E.R.; SILVA, W.; FRANÇA, J.M. Correlações entre características físicas, químicas e físico-químicas de frutos de cirigueira. **Revista Agroambiente**, v. 10, n. 1, p. 30-35, 2016.

GONÇALVES, L.S.A.; RODRIGUES, R.; AMARAL JUNIOR, A.T.; KARASAWA, M.; SUDRÉ, C.P. Heirloom tomato gene bank: assessing genetic divergence based on morphological, agronomic and molecular data using a Ward-modified location model. **Genetics and Molecular Research**, v. 8, p. 364-374, 2009.

HAZEKAMP, T.H.; PAYNE, T.S.; SACKVILLE HAMILTON, N.R. Assessing rice and wheat germplasm collections using similarity groups. **Genetic Resources and Crop Evolution** v. 61, p. 841–851, 2014.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V.L.M.; OLIVEIRA JUNIOR, G.J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83 – 90, 2015.

KOHYAMA, N.; CHONO, M.; NAKAGAWA, H.; MATSUO, Y.; ONO, H.; MATSUNAKA, H. Flavonoid compounds related to seed coat color of wheat. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 81, n. 11, p. 2112-2118, 2017.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cm x 200cm, 1928.

LIMA, T.V.; FELICIANO, A.L.P.; MARAGON, L.C.; MOURA, A.R. Evaluation of biometric characteristics and predation of reproductive structures on ax handle (*Aspidosperma discolor*). **Scientia Plena**, v. 11, n. 5, p. 01-11, 2015.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MAIA, J. M.; OLIVEIRA SOUSA, V. F.; LIRA, E. H. A.; LUCENA, A. M. A. Motivações socioeconômicas para a conservação e exploração sustentável do bioma Catinga. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 41, p. 295-310, 2017.

MARANHO, A.S.; SOARES, I.D.; GUIMARÃES, A.V.P.J. Biometria de frutos-sementes e emergência de plântulas de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham. em diferentes substratos e profundidades de semeadura. **Revista Biociências**, v. 20, n. 1, p. 56-62, 2014.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 660p, 2015.

MATHEUS, M.T.; LOPES, J.C.; CORRÊA, N.B. Maturação fisiológica de sementes de *Erythrina variegata* L. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 619-627, 2011.

MCGUIRE, R.G. Reporting of Objective Color Measurements. **Hortscience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MENEGATTI, R.D.; MANTOVANI, A.; NAVROSKI, M.C.; SOUZA, A.G. Genetic divergence among provenances of *Mimosa scabrella* Benth. based on seed analysis. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 366-371, 2017.

Mojena, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. *The Computer Journal*, v. 20, p. 359-363, 1977. DOI: 10.1093/comjnl/20.4.359

MONTEIRO, R.A.; FIOREZE, S.L.; NOVAES, M.A.G. Variabilidade genética de matrizes de *Erythrina speciosa* a partir de caracteres morfológicos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 1, p. 48-55, 2016.

MORAES, C.B.; CARVALHO, E.V.; ZIMBACK, L.; LUZ, O.S.L.; PIERONI, G.B.; MORI, E.S.; LEAL, T.C.A.B. Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1047-1054, 2015.

OLIVEIRA, E.J.; MORGANTE, C.V.; DE TARSO AIDAR, S.; DE MELO CHAVES, A.R.; ANTONIO, R.P.; CRUZ, J.L.; COELHO FILHO, M.A. Evaluation of cassava germplasm for drought tolerance under field conditions. **Euphytica**, v. 213, n. 8, p. 188, 2017.

ORNELLAS, F.L.S.; SOUSA, A.O.; PIROVANI, C.P.; NASCIMENTO ARAÚJO, M.; COSTA, D.S.; DANTAS, B.F.; BARBOSA, R.M. Gene expression, biochemical and physiological activities in evaluating melon seed vigor through ethanol release. **Scientia Horticulturae** v. 261, n. 108884, 2020.

PATHARE, P.B.; OPARA, U.L.; AL-SAID, F.A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 36-60, 2013.

PILON, N.A.L.; UDULUTSCH, R.G.; DURIGAN, G. Padrões fenológicos de 111 espécies de Cerrado em condições de cultivo. **Hoehnea**, v. 42, n. 3, p. 425-443, 2015.

PINTO, J.R.S.; DOMBROSKI, J.L.D.; FREITAS, R.M.O. Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook., sob sombreamento no semiárido. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 465-472, 2017.

R DEVELOPMENT CORE, team. A Language and Environment for Statistical Computing. **R Found Stat Comput Vienna, Austria**, v. 2, 2018.

ROVERI NETO, A.; PAULA, R.C.D. Variabilidade entre árvores matrizes de *Ceiba speciosa* St. Hil para características de frutos e sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 318-327, 2017.

SANTANA, S.H.; TORRES, S.B.; BENEDITO, C.P. Biometria de frutos e sementes e germinação de melão-de-são-caetano. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 2, p. 169-175, 2013.

SANTOS, F.S.; PAULA, R.C.; SABONARO, D.Z.; VALADARES, J. Biometria e qualidade fisiológica de sementes de diferentes matrizes de *Tabebuia chrysotricha* (Mart. Ex A. DC.) Standl. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 82, p. 163-173, 2009.

SANTOS, G.A.; XAVIER, A.; LEITE, H.G. Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 737-747, 2006.

SHARMA, K.; KUMAR, V.; KUMAR, S.; SHARMA, R.; MEHTA, C. M. *Bauhinia variegata*: a comprehensive review on bioactive compounds, health benefits and utilization. **Advances in Traditional Medicine**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2020.

SILVA, C.A.; ABREU, Â.D.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; MAIA, L.G.S. Chemical composition as related to seed color of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, n. 2, p. 132-137, 2012.

SILVA, M.C.; MACIEL, D.; COELHO, M.C.B.; GIONGO, M.; PEREIRA, J.F.; SANTOS, A.F. Avaliação do crescimento inicial das mudas de *Tabebuia serratifolia* (Ipê Amarelo) sob diferentes regimes hídricos. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 2, p. 299-303, 2019.

TAHARA, T.; WATANABE, A.; YUTANI, M.; YAMANO, Y.; SAGARA, M.; NAGAI, S.; SAITO, K.; YAMASHITA, M.; IHARA, M.; LIDA, A. STAT3 inhibitory activity of naphthoquinones isolated from *Tabebuia avellaneda*. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 28, ed. 6, n. 115347, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed 858p. 2017

VIEIRA, M.; MAYO, S.J.; ANDRADE, I.M.; Geometric morphometrics of leaves of *Anacardium microcarpum* Ducke and *A. occidentale* L. (Anacardiaceae) from the coastal

region of Piauí, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 37, n. 3, p. 315-327. 2014.

WAJS-BONIKOWSKA, A.; SMEDS, A.; WILLFÖR, S. Chemical composition and content of lipophilic seed extractives of some *Abies* and *Picea* species. **Chemistry & biodiversity**, v. 13, n. 9, p. 1194-1201, 2016.

WICKHAM, H. **ggplot2**: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, Nova York. 260p. 2016.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4_9

ZAHRA'U, B.; MOHAMMED, A.S.; GHAZALI, H.M.; KARIM, R. Baobab tree (*Adansonia digitata* L) parts: nutrition, applications in food and uses in ethno-medicine—a review. **Ann Nutr Disord & Ther**, v. 1, n. 3, p. 1011, 2014.