

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**

**BIOLOGIA FLORAL E VISITANTES FLORAIS DE
Spondias bahiensis P. CARVALHO, VAN DEN BERG & M.
MACHADO NO RECÔNCAVO BAIANO**

MÔNICA RIBEIRO PEIXOTO DO NASCIMENTO

**CRUZ DAS ALMAS / BAHIA
AGOSTO - 2023**

**BIOLOGIA FLORAL E VISITANTES FLORAIS DE *Spondias bahiensis* P. CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO
NO RECÔNCAVO BAIANO**

MÔNICA RIBEIRO PEIXOTO DO NASCIMENTO
Bacharela em Ciências Biológicas
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Fitotecnia).

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alfredo Lopes de Carvalho
Coorientadora: Profa. Dra. Maria Angélica Pereira de Carvalho Costa
Coorientador: Dr. Everton Hilo de Souza

**CRUZ DAS ALMAS / BAHIA
AGOSTO - 2023**

FICHA CATALOGRÁFICA


| | |
|-------|---|
| N244b | <p>Nascimento, Mônica Ribeiro Peixoto do. Biologia floral e visitantes florais de <i>Spondias bahiensis</i> P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado no Recôncavo Baiano / Mônica Ribeiro Peixoto do Nascimento. _ Cruz das Almas, BA, 2023. 127f.; il.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Doutorado em Ciências Agrárias.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Carlos Alfredo Lopes de Carvalho. Coorientadora: Prof. Dra. Maria Angélica Pereira de Carvalho Costa. Coorientador: Prof. Dr Everton Hilo de Souza.</p> <p>1.Umbu-cajá – Cultivo – Fenologia. 2.Umbu-cajá – Polinização. 3.Conservação – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 634.1</p> |
|-------|---|

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**


**BIOLOGIA FLORAL E VISITANTES FLORAIS DE *Spondias bahiensis* P.
CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO NO RECÔNCAVO BAIANO**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE
MÔNICA RIBEIRO PEIXOTO DO NASCIMENTO**

Realizada em 24 de Agosto de 2023

Documento assinado digitalmente
 **MARIA ANGELICA PEREIRA DE CARVALHO COSTA**
Data: 20/09/2023 07:31:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Pereira de Carvalho Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
(Coorientadora)

Documento assinado digitalmente
 **LIDYANNE YURIKO SALEME AONA PINHEIRO**
Data: 20/09/2023 09:48:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof^a. Dr^a. Lidyanne YuriKo Saleme Aona-Pinheiro
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Externo



Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Velo Loyola Dantas
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 **MARILIA DANTAS E SILVA**
Data: 20/09/2023 10:29:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Marília Dantas e Silva
Instituto Federal Baiano - IFBAIANO
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 **SAMIRA MARIA PEIXOTO CAVALCANTE DA SILVA**
Data: 20/09/2023 09:39:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Samira Maria Peixoto Cavalcante da Silva
Examinador Externo

DEDICO

Ao Deus criador e Senhor da minha vida,
Aos meus amados, esposo e filho, por toda paciência e ajuda,
e aos meus queridos pais, irmão, cunhada e sobrinhas.

OFEREÇO

A toda minha família e amigos.
E a todos que sofreram, de alguma forma, nessa terrível pandemia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Senhor e autor da minha vida, por todo cuidado e força, que me ajudou a chegar até aqui, obrigada Deus, por não ter me deixado fraquejar nas diversas vezes que pensei em desistir.

Ao meu esposo, Maurício, por toda ajuda e compreensão, e por todas as idas e vindas à área experimental junto comigo. Eu te amo!

Ao meu filho querido, Emanuel Levi, por todo amor e pela coragem de ir junto, mesmo tão pequeno, sempre esteve disposto a ajudar mamãe. Ele virou fã de Umbu-cajá.

Aos meus pais (Nailza e Moisés), por serem minha base, amo vocês. Obrigada meu Pai, por todas as vezes que acordou de madrugada e foi comigo ver as flores e os insetos (risos), só pra eu não ir sozinha. E ao meu querido irmão Messias, por toda ajuda quando precisei.

Ao meu amigo querido, que o doutorado me deu, Simplício Mota. “Simplis”, sua ajuda e amizade ajudaram a caminhada ser mais leve. Obrigada por tudo!

A Ila Adriane, por toda ajuda no começo dos experimentos, você é dez!

A Vanessa Louzado, outra amiga que o doutorado me deu. Obrigada “Nessa” por tudo! Você é um presente de Deus.

A meu orientador Carlos Alfredo, pela paciência e pela oportunidade de realizar essa pesquisa.

À minha co-orientadora Maria Angélica, por toda paciência e ajuda sempre dispensada, e por permitir utilizar o laboratório M em todos os momentos.

Ao Everton Hilo de Souza por toda logística e auxílio com os reagentes para os experimentos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

O professor (ex-coordenador) Carlos Dórea, pelas palavras de incentivo nos momentos difíceis em que enfrentei no início, agradeço de coração. Elas me fizeram ter mais coragem e continuar.

À toda equipe do Grupo de Pesquisa Insecta por toda ajuda e atenção e por permitir utilizar os equipamentos para a realização dessa pesquisa. Muito obrigada!

À “irmã” Débora por toda ajuda nos afazeres de casa, obrigada por organizar minha casa enquanto eu estudava.

Ao IF Baiano pelo incentivo, permissão e liberação para que esse doutorado acontecesse. A minha diretora Livia Tosta por toda compreensão e carinho.

À minha amiga do peito Leonizia Sena. Obrigada pelas orações e palavras de conforto e animo.

Aos meus familiares que sempre torceram por mim, principalmente minha Yaya e Bela.

Aos meus amados irmãos da Igreja Batista Restaura Vidas, por todas as orações.

Aos colegas do curso de doutorado em Ciências Agrárias (turma 2020), fomos impedidos do convívio pela pandemia, mas, juntos vencemos.

À banca por toda contribuição na correção da tese.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) pela oportunidade da formação desde a graduação até o doutorado.

Aos setores administrativos, os técnicos e funcionários da area experimental da UFRB, pela ajuda que tornou possível a realização deste trabalho, em especial ao técnico Luís Antônio e ao Sr. Hélio por toda boa vontade.

Em meio à pandemia do covid-19 nasceu essa Tese. O medo nos abatia e o distanciamento nos entristecia. Porém o cheiro e a beleza das flores do umbu-cajá foram remédios para a minha alma. Eu vejo a mão de Deus em tudo.

A todos a minha eterna gratidão!

EPIGRAFE

“Quanta paz no coração
A natureza me dava
No tempo que eu brincava
Com carro de papelão.
Não tinha habilitação
Uniforme nem craxá
Mas eu tinha um alvará
Que Deus me deu de presente
Pra dirigir livremente
No meu pé de imbu-cajá”.

(O Meu pé de imbu-cajá)
Adelmar Alves

**BIOLOGIA FLORAL E VISITANTES FLORAIS DE *Spondias bahiensis* P.
CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO NO RECÔNCAVO BAIANO**

RESUMO GERAL

A eficiência da polinização pode garantir maior produção de frutos, maior quantidade de sementes, grãos, folhagens, que são utilizados em grande demanda pela sociedade. *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado é uma frutífera de importante valor comercial, principalmente para o nordeste brasileiro e vem se destacando devido, não apenas pela comercialização do fruto *in natura*, mas também pela sua utilização na produção de sucos e sorvetes. No entanto, a espécie não possui cultivares estabelecidas e sugeridas para cultivo comercial. O objetivo do presente trabalho foi estudar a biologia floral o sistema reprodutivo e inventariar os visitantes florais por meio de observações e identificação dos possíveis polinizadores efetivos da espécie da *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado. A proposta é que os resultados obtidos possam subsidiar o manejo da cultura, desenvolvimento de estratégias de melhoramento genético, o planejamento e implementação de cultivos comerciais da espécie. As avaliações foram realizadas em plantas estabelecidas da Coleção de Germoplasma de umbu-cajazeira instalada no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, na cidade de Cruz das Almas – BA. Na avaliação da fenologia consideraram-se os períodos de brotação das plantas, produção de botões florais, florescimento e início da frutificação até a maturação dos frutos. As avaliações foram realizadas, em 80 indivíduos, durante 24 meses compreendidos entre abril de 2021 a abril de 2023. Também foram realizados estudos de biologia floral, biologia reprodutiva e visitantes florais. O tempo médio entre a indução floral até a colheita de frutos foi de aproximadamente 180 dias. A espécie floresceu entre setembro a dezembro, frutificou de outubro a dezembro e o amadurecimento do fruto ocorreu entre os meses de março a maio. Altas taxas de germinação e viabilidade polínica foram obtidas e a receptividade do estigma esteve relacionada com a antese. Essas características associadas têm grande importância para a fertilização e, conseqüentemente, para a produção de frutos. A espécie apresenta autoincompatibilidade e alogamia preferencial. Os visitantes florais foram insetos generalistas, sendo que as abelhas, especialmente, *Trigona* spp, *Nannotrigona testaceicornis* (Lepelletier, 1836) e *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) foram as mais frequentes e abundantes, por apresentarem características de forrageamento, contato com a flor durante a coleta do recurso, podem ser consideradas os potenciais polinizadores de *S. bahiensis*.

Palavras-chave: Fenologia, Viabilidade do pólen, Polinizadores, Umbu-cajazeira.

**FLORAL BIOLOGY AND FLORAL VISITORS OF *Spondias bahiensis* P.
CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO IN THE RECÔNCAVO BAIANO**

GENERAL ABSTRACT

The efficiency of pollination can guarantee greater fruit production, a greater quantity of seeds, grains and foliage, which are used in great demand by society. *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado é uma frutífera de importante valor comercial, principalmente para o nordeste brasileiro e vem se destacando devido, não apenas pela comercialização do fruto *in natura*, mas também pela sua utilização na produção de sucos e sorvetes. However, the species does not have established cultivars suggested for commercial cultivation. The objective of the present work was to study floral biology and the reproductive system and inventory floral visitors through observations and identification of possible effective pollinators of the *Spondias bahiensis* species P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado. The proposal is that the results obtained can support crop management, development of genetic improvement strategies, planning and implementation of commercial cultivation of the species. The evaluations were carried out on established plants from the Uumbu-cajazeira Germplasm Collection installed in the experimental field of the Federal University of Recôncavo da Bahia, in the city of Cruz das Almas – BA. When evaluating phenology, the periods from plant budding, production of floral buds, flowering and beginning of fruiting to fruit maturation were considered. The evaluations were carried out on 80 individuals, during 24 months between April 2021 and April 2023. Studies of floral biology, reproductive biology and floral visitors were also carried out. The average time between floral induction and fruit harvest was approximately 180 days. The species flowered between September and December, fruited from October to December and the fruit ripened between March and May. High rates of germination and pollen viability were obtained and stigma receptivity was related to anthesis. These associated characteristics are of great importance for fertilization and, consequently, for fruit production. The species presents self-incompatibility and preferential allogamy. Floral visitors were generalist insects, with bees, especially *Trigona* spp, *Nannotrigona testaceicornis* (Lepeletier, 1836) and *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) being the most frequent and abundant, as they present foraging characteristics, contact with the flower during the collection of the resource, potential pollinators of *S. bahiensis* can be considered.

Keywords: Phenology, Pollen viability, Pollinators, Uumbu-cajazeira

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Síntese dos artigos encontrados sobre biologia floral, reprodutiva e visitantes florais de *Spondias*..... 40

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Fenofases reprodutivas de umbu-cajazeira (*Spondias bahiensis*) no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas Bahia, Brasil (2021-2023)..... 73

Tabela 2. Percentuais médios da viabilidade de grãos de pólen de *S. bahiensis* utilizando os corantes: Reativo de Alexander, Carmim acético e Lugol, dois morfos florais, em diferentes estádios..... 78

Tabela 3. Valores médios de germinação (%) e de crescimento do tubo polínico (mm) em dois morfos florais em função de estados de anteses em *Spondias bahiensis*..... 81

Tabela 4. Receptividade do estigma de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado avaliada na pré-antese, antese e pós-antese utilizando duas metodologias..... 83

Tabela 5. Características morfológicas de grãos de pólen de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado.....85

Tabela 6. Eficiência reprodutiva de *Spondias bahiensis* no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas Bahia, Brasil..... 87

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Quantidade de grãos de pólen de *S. bahiensis* liberados por horário..... 107

Tabela 2. Percentuais médios da viabilidade de grãos de pólen de *Spondias bahiensis* por dia..... 108

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1:** Fluxograma da seleção de artigos..... 34
- Figura 2.** Classificação por temas de estudo nos artigos selecionados das bases de dados *Pubmed*, Portal de Periódicos Capes, *Web of Science* e *Scopus*, utilizando o descritor “*Spondias*”..... 35
- Figura 3.** Distribuição absoluta (n) dos artigos relacionados à *Spondias*, segundo o ano da publicação..... 36
- Figura 4.** Número absoluto (n) de artigos publicados de acordo com a espécie de *Spondias*..... 38
- Figura 5.** Distribuição por ano do número de publicações relacionadas à biologia floral, biologia reprodutiva e visitantes florais de espécies do gênero *Spondias*..... 47
- Figura 6.** Análise da qualidade dos artigos, segundo fator de impacto. 48

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Precipitação pluviométrica (mm) do município de Cruz das Almas-BA durante o período experimental com *Spondias bahiensis*.....72
- Figura 2.** A-C) Flores de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado..... 75
- Figura 3.** Viabilidade dos grãos de pólen de *S. bahiensis* nas condições do recôncavo baiano..... 78
- Figura 4.** Teste de receptividade de estigma na flor de *Spondias bahiensis* acetato..... 82
- Figura 5.** Morfologia dos grãos de pólen da espécie *S. bahiensis*.....85

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Flores de *Spondias bahiensis* em condições no Recôncavo Baiano, Cruz das Almas-BA. Detalhes das anteras das flores por horário de coleta107
- Figura 2.** Viabilidade dos grãos de pólen com Alexander a 2 %, setas indicam grãos de pólen inviáveis com coloração verde ou azul claro e pólen viáveis com coloração azul escuro ou roxo (A-F) 110

Figura 3. Flores de *Spondias bahiensis* em teste com o vermelho neutro (A-C). Setas indicam partes coradas com o reagente.....112

Figura 4. Visitantes florais de *Spondias bahiensis* na área de estudo localizada no campo experimental da UFRB em Cruz das Almas – Bahia115

Figura 5. Frequência (%) de indivíduos por horário entre as espécies de abelhas (Apidae) nas flores de *Spondias bahiensis*116

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL..... | 16 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 18 |
| 2.1 Importância Econômica da Fruticultura..... | 18 |
| 2.2 Anacardiaceae | 19 |
| 2.3 <i>Spondias bahiensis</i> P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado | 20 |
| 2.3.1 Caracterização morfológica..... | 20 |
| 2.3.2 Distribuição Geográfica..... | 21 |
| 2.4 Biologia Floral e Reprodutiva e Visitantes Florais..... | 22 |
| 3.REFERÊNCIAS..... | 23 |

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS DE ESPÉCIES DO GÊNERO *Spondias*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 30 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 32 |
| 2.1 Estratégia de busca..... | 32 |
| 2.2 Seleção dos artigos de pesquisa..... | 32 |
| 2.3 Avaliação da qualidade..... | 33 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 33 |
| 3.1 Biologia Floral e Reprodutiva de <i>Spondias</i> | 48 |
| 3.2 Visitantes florais de <i>Spondias</i> | 49 |
| 3.3 <i>Spondias</i> e as abelhas..... | 50 |
| 4. CONCLUSÕES..... | 51 |
| 5. REFERÊNCIAS..... | 52 |

CAPÍTULO 2

BIOLOGIA FLORAL E REPRODUTIVA DE *Spondias bahiensis* P. CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO (ANACARDIACEAE) NO RECÔNCAVO BAIANO.....

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 63 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 64 |
| 2.1 Fenologia da Floração e Características Florais..... | 66 |
| 2.2 Teste Histoquímico..... | 67 |
| 2.3 Germinação <i>in vitro</i> | 67 |
| 2.4 Receptividade do estigma..... | 68 |
| 2.5 Razão pólen/óvulo..... | 69 |
| 2.6 Acetólise Polínica | 69 |
| 2.7 Mecanismos de polinização avaliados..... | 70 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 71 |
| 3.1 Fenologia da floração | 71 |
| 3.2 Biologia Floral..... | 74 |
| 3.3 Viabilidade polínica..... | 77 |
| 3.4 Receptividade do estigma..... | 81 |
| 3.5 Razão pólen/óvulo..... | 83 |
| 3.6 Acetólise Polínica | 86 |
| 3.7 Sistemas Reprodutivos..... | 86 |
| 4. CONCLUSÕES..... | 89 |
| 5. REFERÊNCIAS..... | 90 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 3 | |
| VISITANTES E RECURSOS FLORAIS DE <i>Spondias bahiensis</i> P. CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO, NO RECÔNCAVO BAIANO..... | 97 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 100 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 102 |
| 2.1 Recursos Florais | 104 |
| 2.1.1 Horário de liberação do pólen..... | 102 |
| 2.1.2 Viabilidade dos grãos de pólen..... | 103 |
| 2.1.3 Receptividade do estigma | 103 |
| 2.1.4 Néctar e Osmóforos..... | 104 |
| 2.2 Visitantes florais..... | 104 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 105 |
| 3.1 Recursos Florais | 104 |
| 3.1.1 Horário de liberação do pólen..... | 105 |
| 3.1.2 Viabilidade polínica e Receptividade do estigma..... | 108 |
| 3.1.3 Néctar e Osmóforos..... | 103 |
| 3.2 Visitantes Florais | 112 |
| 4. CONCLUSÕES..... | 112 |
| 5. REFERÊNCIAS..... | 118 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 124 |
| ANEXOS | 126 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

A fruticultura é um dos segmentos da economia brasileira que mais tem se destacado nos últimos anos e continua em plena evolução tanto no que diz respeito à produção de frutas *in natura*, como na industrialização de sucos e néctares (FAO, 2023).

O Brasil é o terceiro produtor mundial de frutas, produzindo aproximadamente 40.000 toneladas, sendo a Índia e a China, o segundo e primeiro produtor mundial, com 104.165,5 toneladas e 246.621,3 toneladas, respectivamente, na safra 2020 (FAO, 2023).

Dentre as regiões do Brasil, o Nordeste é caracterizado pela crescente produção de frutas para o consumo do mercado interno e externo e atualmente é o segundo maior produtor nacional, com produção de 8.111.393 toneladas, da safra 2021, e valor de produção de R\$ 11.589.914 (IBGE, 2023).

Dentre as fruteiras da região Nordeste que apresentam grande potencial de exploração destacam-se, o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), a mangueira (*Mangifera indica* L.), o umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda), a cajazeira (*Spondias mombin* L.), a mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) a pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) que contribuem para o desenvolvimento socioeconômico da região (SOUZA; LORENZI, 2008; CORADIN et al., 2018).

Outra fruteira que vem se destacando como uma importante alternativa econômica para a região é a umbu-cajazeira (*Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado) (SILVA et al., 2014) , não apenas pela comercialização do fruto *in natura*, mas também pela utilização do mesmo na produção de sucos e sorvetes (RITZINGER et al., 2008; ARAÚJO et al., 2018).

Por muito tempo, essa espécie foi caracterizada como híbrido natural entre umbu e cajá, devido às suas ocorrências, geralmente ao lado do umbuzeiro e a características próximas, como o formato da planta e tamanho dos frutos que variam entre 2,5 e 3,5 cm (CARVALHO et al., 2008).

Na literatura têm sido documentados dois táxons diferentes com a mesma nomenclatura. O primeiro é encontrado mais ao norte do Nordeste (Alagoas, Pernambuco, Sergipe, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte) e outra mais ao sul do Nordeste, no estado da Bahia (CARVALHO et al., 2008; MACHADO et al., 2015; SOUZA et al., 2020).

Estudos realizados por Machado et. al. (2015) em plantas de umbu-cajazeira coletadas no estado da Bahia, em função das suas diferentes características moleculares, morfológicas, morfométricas permitiram contrapor a hipótese de que a espécie seria um híbrido, a qual passou a ser considerada uma espécie natural, sendo, portanto, classificada como uma nova espécie e foi descrita como *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado.

No entanto, Nobre et al. (2018) após o sequenciamento de alto rendimento com análise de *Single Nucleotide Polymorphism* (SNP), caracterização de DNA ribossômico nuclear intragenômico (nrDNA) e análises filogenômicas nucleares e de cloroplastos de plantas coletadas no Estado de Alagoas, ratificaram que realmente esse táxon específico, região mais ao norte do Nordeste, é de origem híbrida. Assim, os dois táxons estavam sendo comparados de forma equivocada nas diferentes localidades.

O conhecimento dos padrões fenológicos de floração e frutificação, biologia floral e reprodutiva e dos polinizadores efetivos da *S. bahiensis* são importantes ferramentas para subsidiar o manejo da cultura, desenvolvimento de estratégias de melhoramento genético e a conservação da espécie. Tais informações ainda são escassas na literatura. Segundo Araújo et al. (2018) a espécie não possui cultivares estabelecidas e sugeridas para cultivo comercial.

Informações sobre a biologia reprodutiva, eventos de polinização, fecundação e até o desenvolvimento das sementes são decisivas para a escolha dos procedimentos e metodologias para um programa de melhoramento genético em fruteiras (BORÉM e MIRANDA, 2009).

Neste cenário, o objetivo deste trabalho foi estudar a biologia floral e o sistema reprodutivo da *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M.

Machado, bem como inventariar os visitantes florais por meio de observações focais, para posterior identificação dos possíveis polinizadores efetivos da espécie.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância Econômica da Fruticultura

A fruticultura brasileira tem importante relevância tanto no contexto econômico como no social, gerando empregos diretos e indiretos e aumentando a renda de produtores e trabalhadores agrícolas, empresas de logística e de distribuição (AGROSTAT 2020; IBGE, 2023).

A produção e exportação de frutas impacta significativamente a economia do país. O Brasil produz cerca de 40 milhões de toneladas de frutas por ano, gerando receitas próximas a US\$ 1 bilhão de dólares (AGROSTAT 2020, ABRAFRUTAS, 2022).

A produção de frutas no Brasil atende ao mercado interno e cada vez mais se expande para o mercado externo aumentando o volume das exportações, o número de empresas exportadoras, quantidades produzidas, e as variedades exportadas (ABRAFRUTAS, 2022).

A grande diversidade de frutas produzidas no país contribui de forma significativa para a segurança alimentar e nutricional da população, principalmente porque as frutas fornecem vitaminas, minerais, fibras e antioxidantes essenciais para a saúde (FAO, 2023).

As maiores áreas cultivadas com fruticultura no Brasil, estão no nordeste, totalizando aproximadamente 52%. Em 2019, a fruticultura nordestina gerou US\$ 699,7 milhões (VIDAL, 2020).

No Nordeste, a produção de frutas cresce a cada ano, principalmente por conta da demanda do mercado interno (VIDAL, 2020). A produção de frutas do gênero *Spondias*, merece destaque, principalmente o umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), a cajazeira (*Spondias mombin*) e a umbu-cajazeira (*Spondias bahiensis*) que para a região semiárida do Nordeste tornaram-se fonte de renda para as famílias dos agricultores, seja na comercialização dos frutos *in natura* ou

processados na forma de doces, geleias e sorvetes (CARVALHO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2018).

De acordo com os dados do censo agropecuário do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2018), na região Nordeste, foram produzidas 1.231 toneladas de umbu-cajá e 5.723 toneladas de umbu, tendo sido o estado da Bahia o maior produtor.

Além de todo benefício econômico e social, a fruticultura brasileira oferece um campo produtivo nas pesquisas e inovações tecnológicas. A busca por novas variedades de frutas, melhoramento genético e novas técnicas de cultivos eficientes, são alguns exemplos de áreas potenciais de pesquisas (EMBRAPA, 2023).

2.2 Anacardiaceae

A família Anacardiaceae R. Br. inclui aproximadamente 81 gêneros e 800 espécies, encontrados em diversos ambientes, de secos a úmidos, principalmente em terras baixas nas regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo (MITCHELL et al., 2022; SILVA-LUZ et al., 2023).

Diversas espécies de Anacardiaceae apresentam importância econômica como, frutíferas, tais como, mangueira, o cajueiro, o umbuzeiro, a umbucajazeira, madeiras úteis (gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng.), guaritá (*Astronium graveolens* Jacq.), aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), e ornamentais (*Schinus terebinthifolia* Raddi, *Schinus molle* L. e *Rhus succedanea* L) (SILVA-LUZ et al., 2023).

No Brasil estão catalogados 15 gêneros e 64 espécies de Anacardiaceae, sendo que 19 delas são endêmicas (SILVA-LUZ et al., 2023). No semiárido brasileiro, a família contribui ativamente para o desenvolvimento socioeconômico da região (SOUZA e LORENZI, 2008; PELL et al., 2011). Dentre as espécies, a *S. bahiensis* tem levantado interesse devido ao seu potencial de uso comercial (ARAÚJO et al., 2018).

A família apresenta como principais características, plantas lenhosas resiníferas, com aroma e sabor característicos. Folhas simples ou compostas, ausência de estípula, inflorescência cimosa, podendo ou não ocorrer panículas, flores pouco vistosas, geralmente unissexuadas, com frequente presença de

pistilódios e estaminódios, actinomorfas, diclamídeas, normalmente são pentâmeras, ovário geralmente súpero, presença de um único óvulo por lóculo, disco nectarífero intraestaminal e fruto em geral do tipo drupa (PELL et al., 2011; MITCHELL et al., 2022).

Pertencente à família Anacardiaceae, o gênero *Spondias* L. foi o primeiro da família a ser descrito por Linnaeus em 1737. O gênero apresenta 19 a 20 espécies descritas, no Brasil são encontradas 11 espécies, seis endêmicas (MACHADO et al., 2015; MITCHELL et al., 2022; SILVA-LUZ et al., 2023).

Os representantes desse gênero são árvores, com folhas compostas, geralmente membranáceas, com nervura intramarginal, inflorescência axilar ou terminal, geralmente panículas, flores pediceladas, pedicelo articulado, 5-meras, bissexuais, fortemente protândricas; pétalas valvares, alvo-amareladas; estames (8-)10. Ovário (3-)5-carpelar, (3-)5-locular; 1 óvulo apical por lóculo. Disco nectarífero intraestaminal. Fruto drupa complanada, globosa, obovoide ou elipsoide; epicarpo verde, amarelo, laranja ou vermelho; mesocarpo carnoso, comestível, doce ou azedo; endocarpo coriáceo, fibroso ou espinescente; hipocarpo ausente; semente(s) (1-)3-5, complanada, embrião curvo (MITCHELL et al., 2022; SILVA-LUZ et al., 2023).

2.3 *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado

2.3.1 Caracterização morfológica

A espécie *S. bahiensis*, é uma planta arbórea de baixo porte com altura de 6 a 8 metros. Conhecida como umbu-cajazeira ou umbu-cajá, apresenta características de planta xerófila e é bastante difundida em plantios desorganizados, principalmente nos quintais de diversos estados do Nordeste brasileiro (ARAÚJO et al., 2018).

O fruto (umbu-cajá) é do tipo drupa de formatos piriformes a oval (ARAÚJO et al., 2018), possuem tamanhos de 2,5 a 3,5 centímetros, polpa grossa, com sabores menos ácido, no entanto, ainda semelhantes ao da *S. tuberosa* (MACHADO et al., 2015).

O principal meio de propagação da *S. bahiensis* é a estaquia, utilizando a parte vegetativa da espécie. Porém é possível realizar a propagação por

sementes, mesmo sendo mais dificultoso, esse método de propagação pode garantir a seleção das melhores plantas, almejando alta qualidade e maior produção de frutos (ARAÚJO et al., 2018).

Até o ano de 2015, a espécie era descrita como híbrida natural entre o umbu (*Spondias tuberosa*) e a cajá (*Spondias mombin*), e eram documentados dois táxons diferentes com a mesma nomenclatura. Um taxón encontrado mais ao norte do Nordeste (Alagoas, Pernambuco, Sergipe, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte) e outra mais ao sul do Nordeste, no estado da Bahia (CARVALHO, 2006; MACHADO et al., 2015; SOUZA et al., 2020).

No entanto, em estudos com populações do estado da Bahia, utilizando dados morfológicos e moleculares, evidenciou-se que a umbu-cajazeira que ocorre nessa região tratar-se de uma nova espécie resultante da hibridação natural entre *Spondias venulosa* e *S. tuberosa*. Sendo, portanto, descrita como *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado (MACHADO et al., 2015).

2.3.2 Distribuição Geográfica

S. bahiensis é endêmica do Brasil, ocorrendo em diversas regiões do estado da Bahia, onde a vegetação predominante é da Caatinga e de clima semiárido. Porém a *S. bahiensis* pode ser encontrada em outros biomas como a Mata Atlântica e até em áreas litorâneas (CARVALHO et al. 2008).

No semiárido do Nordeste, a planta pode ser encontrada em diversas localidades tanto na zona urbana como na zona rural, é comum a existência de árvores seculares em frente a residências, em quintais, em currais, pastagem. Geralmente sempre associada a áreas antrópicas (CARVALHO et al. 2008; ARAÚJO et al. 2018).

A umbu-cajazeira não tem cultivares estabelecidas para o cultivo comercial em larga escala. Por isso, para inserção de um sistema de produção específico da espécie, é recomendado utilizar informações de cultivo bem-sucedidos de outras espécies frutíferas perenes e com portes semelhantes (ARAÚJO et al., 2018).

A espécie apresenta frutos de alta qualidade e sabor agradável, revelando um potencial específico para conquistar o mercado interno brasileiro,

principalmente no âmbito do comércio de polpas congeladas. Devido à resistência a condições adversas, e a importância econômica da espécie, principalmente para a agricultura familiar, há uma crescente demanda por financiamento de pesquisas abrangendo diversos aspectos, como fenologia, biologia floral e reprodutiva, coleta, seleção, distribuição, nutrição mineral, adubação, poda, pós-colheita e processamento dos frutos (ARAÚJO et al., 2018).

2.4. Biologia Floral, Reprodutiva e Visitantes Florais

O estudo da biologia floral e reprodutiva é fundamental para a compreensão da polinização, permite compreender as interações entre os grãos de pólen, estigma e os mecanismos de atração das flores pelos agentes polinizadores e comportamento dos visitantes florais, estratégias utilizadas pela espécie e sucesso reprodutivo (REVANASSIDA; BELAVADI, 2019; ADITHIYAA et al., 2020).

O período de abertura das flores, ao longo do dia, aumenta a probabilidade de acesso desta por polinizadores (BENZING, 2000) e identificar quando o estigma está receptivo é um fator fundamental para se determinar o melhor momento para a polinização e fecundação (CRUDEN, 2000).

A compreensão da biologia floral e reprodutiva auxilia no desenvolvimento de estratégias para programa de melhoramento genético da espécie, bem como no entendimento do processo de polinização (MORELLATO et al., 2016), proporcionando otimização da produção e no aumento da qualidade dos frutos (RECH et al., 2014; KILL-SILVEIRA; CORDEIRO; SILVA, 2021).

Não menos importante, o conhecimento da biologia floral é fundamental para a obtenção de novas cultivares (MENEZES e OLIVEIRA, 2011; SOUZA et al., 2014).

No manejo agrícola, o conhecimento dos visitantes florais e polinizadores permite adotar estratégias para atrair, manter e proteger esses polinizadores nos pomares e até mesmo a utilização de técnicas de polinização assistida, se necessário (RECH et al., 2014; MENEZES, 2018).

Como as espécies de *Spondias* têm importância econômica significativa, principalmente para o nordeste brasileiro, compreender a biologia floral e

reprodutiva dessas espécies pode beneficiar tanto os produtores como a indústria alimentícia (ARAÚJO et al., 2018; SOUZA et al., 2020).

Considerando os aspectos acima mencionados, este estudo foi subdividido em três capítulos: o primeiro capítulo tratando da biologia floral, biologia reprodutiva e visitantes florais de espécies do gênero *Spondias*: uma revisão sistemática; o segundo capítulo tratou da biologia Floral e reprodutiva de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado (Anacardiaceae) no Recôncavo Baiano; e o terceiro capítulo sobre os recursos e visitantes florais de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van Den Berg & M. Machado, no Recôncavo Baiano.

3. REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS. **Fruticultura**. Dados de Exportação de 2022. Brasília, 2022. Disponível em: < <https://abrafrutas.org/2023/02/dados-de-exportacao-de-2022/>>, acesso em 15 jun.2023.

ADITHIYAA, T.; CHANDRAMOHAN, D.; SATHISH, T. Flower pollination algorithm for the optimization of stair casting parameter for the preparation of AMC. **Materials Today**, v. 21, n. 4, p. 882-886, 2020.

AGROSTAT. Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Exportações do Agronegócio. Disponível em: < <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 15. jun. 2023.

ARAÚJO R. R., SANTOS, E. D., FARIAS, D. B. dos S., LEMOS, E. E.P de, Alves, R. E. *Spondias bahiensis*: Uambu-cajá, in: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial, plantas para o futuro: Região Nordeste. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, p.279-286, 2018.

BENZING, D. H. Bromeliaceae: Profile of an adaptative radiation. **Cambridge: Cambridge University Press**, 2000.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. Melhoria de Plantas. 5 ed. Viçosa: **UFV**, p.529, 2009.

CARVALHO, P.C.L.; RITZINGER, R.; SOARES FILHO, W.S.; LEDO, C.A.S. Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de

umbucajazeira no estado da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p.140-147, 2008.

CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste. Brasília. **Série Biodiversidade**. DF: MMA, p.262, 2018.

CRUDEN, R.W. Pollen-ovule ratio: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. **Evolution**, v.222, p.143-165, 2000.

EMBRAPA. **Embrapa Mandioca e Fruticultura completa 48 anos de atividades de pesquisa e transferência de tecnologia**. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/81236407/embrapamandioca-e-fruticultura-completa-48-anos-de-atividades-de-pesquisa-e-transferencia-de-tecnologia>>. Acesso em 15 jun. 2023.

FAO- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. FAO. FAOSTAT. **Divisão de estatística**, 2023. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.Ac>>. Acesso em: 16. Mar. 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>>, 2023. Acesso em: 15 jun. 2023.

IBGE. SIDRA: **Censo Agropecuário. Culturas temporárias, 2020**. Disponível em:<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6957>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

KILL, S.R; CORDEIRO, L. F. R.; SILVA, D. J. da. Polinizadores visitam o girassol durante todo florescimento, aumentando a produtividade e uniformizando as sementes. **Novos Cadernos NAEA**, v.24, n.2, 2021.

MACHADO, M. C.; CARVALHO, P. C. L.; VAN DEN BERG, C. Domestication, hybridization, speciation, and the origins of an economically important tree crop of *Spondias* (Anacardiaceae) from the Brazilian caatinga dry forest. **Neodiversity**. v.8, n.1, p.8-49. 2015.

MENEZES, C. A relação da agricultura com a atividade de criação de abelhas. In: Desafios e recomendações para o manejo e o transporte de polinizadores – São Paulo: A.B.E.L.H.A., p. 100, 2018.

MENEZES, S. P.; OLIVEIRA, A. C. de. Biologia floral, sistema reprodutivo e métodos artificiais de hibridação de *Hemerocallis* híbrida. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 28-34, 2011.

MITCHELL, J.D.; PELL, S.K.; BACHELIER, J.B.; WARSCHEFSKY, E. J., JOYCE, E. M.; Canadell, L. C. Silva-Luz C. L. da; Coiffard, C. Neotropical Anacardiaceae (cashew family). **Brazilian Journal of Botany**, v.45, p.139-180, 2022.

MORELLATO, L. P. C. et al. Linking plant phenology to conservation biology. **Biological Conservation**, v. 195, p. 60–72, 2016.

NOBRE, L. L. D. M.; SANTOS, J. D. O. D.; LEITE, R.; ALMEIDA, C. Phylogenomic and single nucleotide polymorphism analyses revealed the hybrid origin of *Spondias bahiensis* (family Anacardiaceae): de novo genome sequencing and comparative genomics. **Genetics and Molecular Biology**, v.41 p. 878-883, 2018.

PELL, S. K., MITCHELL, J. D., LOBOVA, T., AND MILLER, A. J. Anacardiaceae. In: *The Families and Genera of Vascular Plants*, v. 10, ed K. Kubitzki. New York, NY: Springer-Verlag, p.7-50, 2011.

RECH, A.R.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA, P.E.; MACHADO, I. C. **Biologia da Polinização**. Rio de Janeiro: Projeto Cultural. 524 p, 2014.

REVANASSIDA.; BELAVADI, V.V. Floral biology and pollination in *Cucumis melo* L., a tropical andromonoecious cucurbit. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 22, n. 1, p .215-225, 2019.

RITZINGER, R.; SOARES FILHO, W. S.; CARVALHO, P. C. L. de. Evaluation of umbu-caja germplasm in the state of Bahia, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 181-186, 2008.

SILVA, G. A. da; N. J. N., SANTOS, E. C. G.; LÓPEZ, J. A.; ALMEIDA, M. G. Gênero *Spondias*: aspectos botânicos, composição química e potencial farmacológico. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v.10, n.1, p.27-41, 2014.

SILVA-LUZ, C. L.; PIRANI, J. R.; PELL, S. K.; MITCHELL, J. D. **Anacardiaceae in Flora e Fungos do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4402>. Acessado em: 20. Mar. 2023.

SOUZA, E. H.; COSTA, M. A. P. C.; SANTOS-SEREJO, J. A.; SOUZA, F. V. D. Selection and use recommendation in hybrids of ornamental pineapple. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 409-416, 2014.

SOUZA, F.X.; PORTO FILHO, F. Q.; MENDES, N.V.B., **Umbu-cajazeira: descrição e técnicas de cultivo**. EdUFERSA, Mossoró, p. 103, 2020.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 740p, 2008.

VIDAL, M. de F. Fruticultura na área de atuação do BNB: produção, mercado e perspectivas. **Caderno Setorial ETENE**, n.136, p.1-9, 2020.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS DE ESPÉCIES DO GÊNERO *Spondias*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

CARACTERÍSTICAS REPRODUTIVAS DE ESPÉCIES DO GÊNERO *Spondias*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

RESUMO - O gênero *Spondias* L. faz parte da família Anacardiaceae e apresenta grande importância na alimentação, medicina, farmacologia, ciências agrárias, entre outros, para a humanidade. Este estudo teve por objetivo realizar, por meio de uma revisão sistemática, um levantamento sobre os estudos já realizados com as espécies de *Spondias*, enfatizando as pesquisas que abordam a biologia floral, reprodutiva, visitantes florais e polinizadores do gênero. Foram utilizadas as bases de dados eletrônicas, *PubMed*, *Web of Science*, *Scopus* e, outras bases através, do Portal Periódico CAPES. A pesquisa foi realizada entre os meses de junho a dezembro de 2022, utilizando o descritor “*Spondias*”, nos idiomas português, inglês e espanhol, sem restrição quanto ao período de publicação. Esta revisão demonstrou que maioria dos artigos estudam as propriedades farmacológicas e medicinais, biotecnologia e beneficiamento, e fisiologia e anatomia de *Spondias*. No entanto, em comparação com outros assuntos, as pesquisas sobre a biologia reprodutiva, a morfologia floral, os visitantes florais e os polinizadores das espécies do gênero *Spondias* ainda são limitadas. É importante ressaltar que pesquisas relacionadas à biologia floral, reprodutiva e polinizadores, auxiliam no conhecimento da espécie vegetal, nas estratégias de conservação e de melhoramento genético, e principalmente na agricultura.

Palavras-chave: Anacardiaceae, flores, polinizador, reprodução.

REPRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF *Spondias* SPECIES: A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT – The genus *Spondias* L. is part of the Anacardiaceae family and is of great importance in food, medicine, pharmacology, agricultural sciences, among others, for humanity. Therefore, the objective was to carry out, through a systematic review, a survey of the studies already carried out with *Spondias* species, emphasizing research that addresses floral and reproductive biology, floral visitors and pollinators of the genus. The electronic databases were used, *PubMed*, *Web of Science*, *Scopus* and other databases through the CAPES Periodic Portal. The research was carried out between the months of June and December 2022, using the descriptor “*Spondias*”, in Portuguese, English and Spanish, without restrictions regarding the period of publication. This review demonstrated that the majority of articles study the pharmacological and medicinal properties, biotechnology and processing, and physiology and anatomy of *Spondias*. However, compared to other subjects, research on the reproductive biology, floral morphology, floral visitors and pollinators of species in the genus *Spondias* is still limited. It is important to highlight that research related to floral, reproductive and pollinator biology helps in understanding plant species, in conservation and genetic improvement strategies, and especially in agriculture.

Keywords: Anacardiaceae, flowers, pollinator, reproduction.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Spondias* L. faz parte da família Anacardiaceae, e ocorre em regiões tropicais, apresentando 18 espécies descritas (MILLER e SCHAAL, 2005, SILVA-LUZ et al., 2023). A primeira espécie a ser descrita e permitiu a origem do gênero foi *Spondias mombin* (cajá), por Linnaeus em 1753 (AIRY SHAW e FORMAN, 1967).

Das 11 espécies encontradas no Brasil, pode-se listar seis endêmicas que são: *Spondias admirabilis* J. D. Mitch. & Daly (cajá-miúdo); *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado (umbu-cajá); *Spondias expeditionaria* J.D.Mitch. & Daly (cajá-mirim); *Spondias macrocarpa* Engl. (cajá-redondo); *Spondias tuberosa* Arruda (umbu) e *Spondias venulosa* (Mart. ex Engl.) Engl. (cajá-de-pescoço) (SILVA-LUZ et al., 2023). Dentre estas espécies a *S. tuberosa* e a *S. bahiensis* são consideradas as mais conhecidas devido à exploração de forma extrativista ou em pomares domésticos (FONSECA et al., 2017).

Por outro lado, as espécies naturais que se destacam são: o umbuzeiro (*S. tuberosa*), a principal frutífera endêmica da caatinga, a cajazeira (*S. mombin* L.), a serigueleira (*S. purpurea* L.), a cajaraneira (*S. dulcis* Parkinson), e a umbu-cajazeira (*S. bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado) (SOUZA, 1998, SILVA et al., 2014, ARAÚJO et al., 2018).

A espécie *S. bahiensis* era conhecida como híbrido entre *S. tuberosa* e *S. mombin*, porém após estudos moleculares, morfológicos e morfométricos, foi considerada espécie natural, mas, com parentesco entre *S. venulosa* e *S. tuberosa* (MACHADO et al., 2015).

O fruto da *S. bahiensis* tem despertado o interesse comercial das indústrias principalmente na produção de geleias e doces. Já a polpa do fruto pode ser usada de diferentes formas (MACHADO et al., 2015; ARAÚJO et al., 2018; SOUZA et al., 2020). Apesar dos avanços nas pesquisas sobre *S. bahiensis*, a espécie não tem cultivares estabelecidas para cultivo comercial (ARAÚJO et al., 2018).

Os representantes do gênero *Spondias* são, geralmente, árvores que apresentam folhas compostas, membranáceas, inflorescências axilares ou terminais do tipo panícula, flores pediceladas, geralmente pentâmeras, bissexuais

ou unissexuais. Os frutos são do tipo drupa, possuem mesocarpo carnoso, endocarpo coriáceo, fibroso ou espinescente, de 1-5 sementes e embrião curvo (MITCHELL e DALY 2015, SILVA-LUZ et al., 2023).

Algumas espécies de *Spondias* são andromonóicas e autoincompatível, apresentam sistema de polinização generalista, e têm as abelhas como os principais insetos polinizadores (NADIA et al., 2007; TAVARES et al., 2020).

As espécies de *Spondias* são amplamente utilizadas na medicina tradicional para o tratamento de diversas doenças, como, desordens infecciosas, principalmente diarreias e disenterias, distúrbios gástricos e diuréticos (SILVA, et al., 2014; ALMEIDA et al., 2017a; SAMEH et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2022).

Este gênero também é bem representado por espécies frutíferas que, no Brasil, especialmente no Nordeste, tem considerável importância social e econômica, principalmente pela grande comercialização de seus frutos e produtos do seu beneficiamento (FONSECA et al., 2017; CHAVES NETO e SILVA, 2019).

Além do número de espécies importantes comercialmente, espécies de *Spondias* também merecem destaque por apresentarem o fenômeno de hibridação natural que originou híbridos como a umbuguela (*Spondias* sp.) e a cajaguela (*Spondias* sp.) (MACHADO et al., 2021).

A propagação da maioria das espécies de *Spondias* ocorre pelo método sexuado, entretanto algumas espécies não apresentam sementes em seus endocarpos o que torna a propagação sexual inviável (ALMEIDA, et al., 2017b). Desse modo, a propagação assexuada é a mais adequada, e o método mais utilizado é a estaquia (SOUZA, 1998; SOUZA e COSTA, 2010; ARAUJO et al., 2018).

Neste sentido, o estudo e entendimento das características reprodutivas das plantas, como polinização e sistemas sexuais e de reprodução, podem ser usados para entender as respostas das plantas às mudanças ambientais e são importantes também para subsidiar estudos para manejo e melhoramento genético (ALMEIDA et al., 2011; PYKE, 2016; DIAS et al., 2018).

Estudos fenológicos com espécies de *Spondias* demonstram que existem variações em relação ao ambiente estudado. O umbuzeiro (*S. tuberosa*), por exemplo, apresenta fases fenologias vegetativa e reprodutiva em períodos

diferentes, dependendo do local e das condições climáticas (ALMEIDA et al., 2011).

Diante da importância do gênero *Spondias* para a humanidade, na alimentação, medicina, farmacologia, ciências agrárias, entre outros, esta pesquisa objetivou, por meio de uma revisão sistemática, realizar um levantamento sobre os estudos já realizados com as espécies de *Spondias*, enfatizando as pesquisas que abordam a biologia floral, reprodutiva, visitantes florais e polinizadores do gênero.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Estratégia de busca

Para a realização da revisão sistemática de literatura foram utilizadas as bases de dados eletrônicas, “PubMed” (título/resumo e termos MeSH), “Web of Science” (tópico que engloba título, resumo, as palavras chaves do autor e “Keywords Plus”), “Scopus” (título, resumo e palavras chaves) e através do Portal Periódico CAPES, diversas outras bases de dados, com a utilização dos campos de busca título, resumo e palavras-chaves, visando padronizar os dados encontrados.

A pesquisa foi realizada entre junho a dezembro de 2022, utilizando o descritor “*Spondias*”, nos idiomas português, inglês e espanhol, sem restrição quanto ao período de publicação. Considerou-se como critério de inclusão os estudos que dissertavam sobre espécies do gênero *Spondias*, enfatizando estudos sobre a biologia floral, biologia reprodutiva e visitantes florais, e foram excluídos livros, capítulo de livro, teses, dissertações, monografias, resumos e anais de eventos, projetos, artigos de revisão e duplicatas.

2.2 Seleção dos artigos de pesquisa

A busca e seleção dos artigos foram realizadas por dois revisores separadamente. Posteriormente os trabalhos selecionados foram comparados e as divergências foram resolvidas através de debates entre os revisores. Todos os trabalhos obtidos na primeira busca foram transferidos para a plataforma de seleção “Rayyan” (OUZZANI et al., 2016) para garantir uma maior precisão no

processo de seleção, de acordo com os parâmetros de inclusão e exclusão. Inicialmente os artigos foram selecionados após leitura do título e resumo. As informações dos estudos que abordavam a Biologia Floral de espécies do gênero *Spondias* foram tabuladas em planilha Excel, considerando o título, autor, ano, periódico, país, objetivos e resultados, para compilação dos resultados de forma mais precisa.

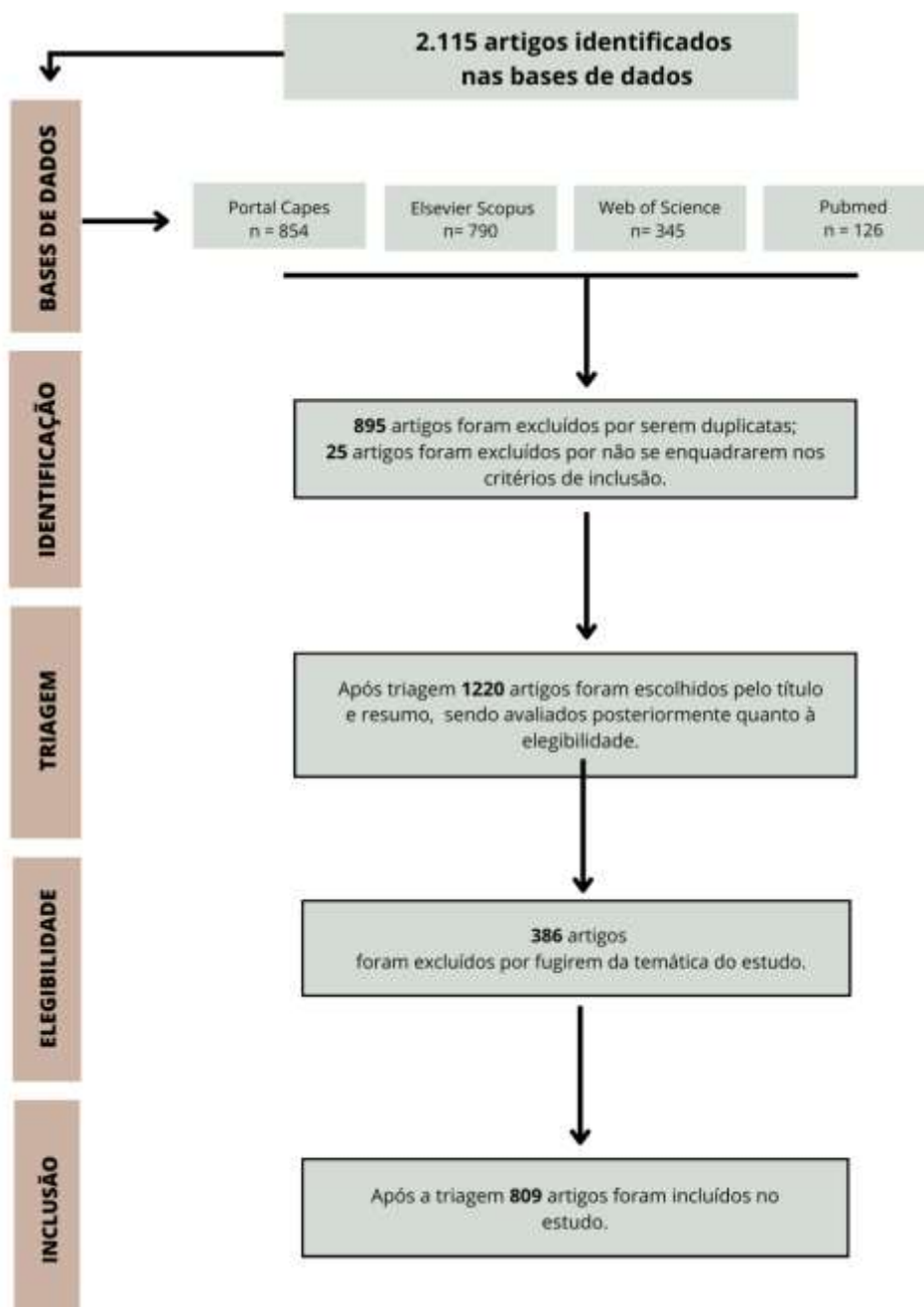
2.3 Avaliação da qualidade

A avaliação da qualidade dos artigos selecionados foi realizada através da análise de 10 itens, cuja pontuação poderia variar de 0 a 3. Esses itens abrangeram a presença ou ausência do fator de impacto ou indicadores bibliométricos (JCI, JCR e Scopus), definição do problema e clara e sucinta apresentação dos objetivos, hipóteses, desenho do estudo, qualidade metodológica, coleta e análise de dados, além das conclusões. A pontuação global de qualidade do artigo foi obtida através da soma da pontuação de cada item analisado e divisão pela pontuação máxima (30 pontos) que cada artigo poderia obter.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os critérios da pesquisa nas bases de dados, usando a palavra-chave "*Spondias*" foram encontrados e selecionados no primeiro momento um total de 2115 artigos (**Figura 1**) dos quais 40,37% foram encontrados no portal de periódicos da Capes (n=854), 37,35% na *Elsevier Scopus* (n=790), 16,3% na *Web of Science* (n=345) e 5,95% na *Pubmed* (n=126).

Figura 1: Fluxograma da seleção de artigos.



Após leitura dos resumos, os 809 artigos selecionados foram classificados por temáticas de estudo das diferentes espécies de *Spondias* (**Figura 2**). Observa-se que o assunto mais discutido entre os artigos são as propriedades farmacológicas e medicinais (n=179) de espécies de *Spondias*. Dentre esses, destaca-se o trabalho realizado por Freitas et al. (2022) sobre a ação

antimicrobiana de *Spondias mombin*, onde no extrato foi identificado constituintes que poderiam facilitar a permeabilidade dos fármacos convencionais na membrana bacteriana, assim como a diminuição da emissão de seus filamentos, e a pesquisa de Medeiros et al. (2022), que testaram os efeitos *in vitro* do extrato etanólico da mesma espécie (*S. mombin*) contra parasitas observando a presença de compostos que poderiam ser usados para o tratamento da stongiloidíase, doença causada por um parasita.

Figura 2. Classificação por temas de estudo nos artigos selecionados das bases de dados *Pubmed*, Portal de Periódicos Capes, *Web of Science* e *Scopus*, utilizando o descritor “*Spondias*”.



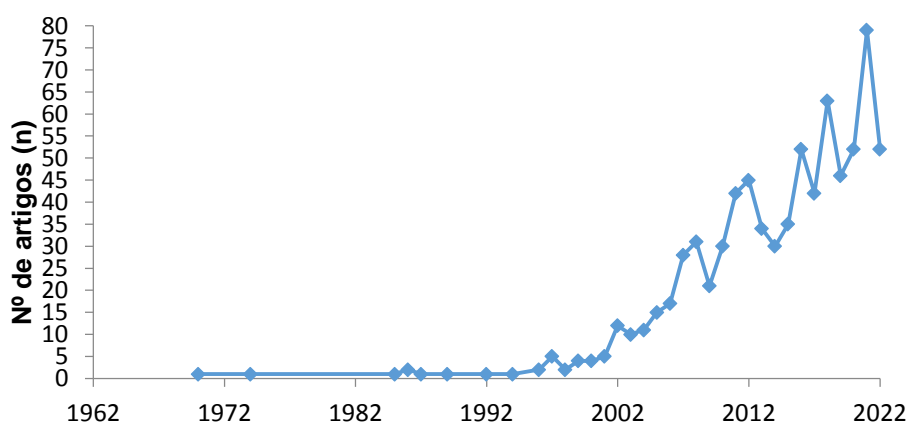
O segundo tema que mais apresentou publicações foi o de biotecnologia e beneficiamento dos frutos das espécies de *Spondias* (n=164), com destaque para as publicações de Asante Ampadu et al. (2022) sobre óleo essencial de *S. mombin* e a de Xavier et al. (2022) sobre a farinha de subprodutos do processamento de umbu (*S. tuberosa*).

Com relação à fisiologia e anatomia vegetal diversos assuntos foram descritos nos 128 artigos selecionados. Neste ponto destacam-se os estudos de Sant' Anna-Santos et al. (2006), Lacchia e Guerreiro (2009), Moura et al. (2013) e de Dantas et al. (2016) que descreveram a anatomia e histoquímica, canais secretores, estádios de maturação e fisiologia da maturação dos frutos, respectivamente.

Quanto à distribuição dos anos de publicação dos artigos selecionados observou-se um aumento exponencial do número de publicações a partir do ano 2000, com maior número em 2021 (n= 79), seguido do ano de 2018 (n= 63) (**Figura 3**).

Entre as publicações de 2021, pode-se citar a pesquisa de Sai et al. (2021) que avaliaram o potencial hiperglicêmico do extrato de folhas de *Spondias pinnata* demonstrando significativa atividade hipoglicêmica em animais, podendo, portanto, ser utilizado de forma tradicional no tratamento de diabetes. Já a publicação de Santos et al. (2021) que analisaram a influência de biofilmes à base de fécula de mandioca na conservação pós-colheita do umbu, indicou que estes biofilmes a 1%, quando utilizados como revestimento dos frutos, poderiam garantir melhor qualidade e prolongamento da validade do fruto pós-colheita.

Figura 3. Distribuição absoluta (n) dos artigos relacionados à *Spondias*, segundo o ano da publicação.



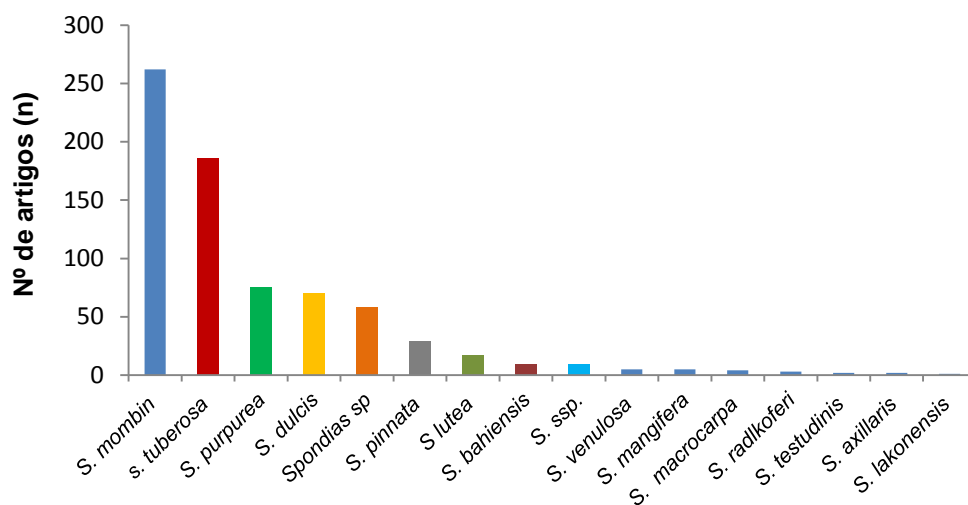
Entres as publicações de 2018 destacam-se as de Sosa-Moguel et al. (2018) e Santos et al. (2018). O primeiro estudo abordou a caracterização de compostos odoríferos em variedades de frutos de ciruela (*Spondias purpurea* L.) onde alguns compostos (3-metilbutanoato de metila, hexanoato de etila, acetato de hexila) foram identificados com notas de odor frutado e outros com notas de odor de grama e limoneno (semelhante a cítricos). Os autores ainda citaram diferenças entres alguns odores e sugeriram a contribuição destes para a definição dos perfis sensoriais de cada cultivar.

O artigo de Santos et al. (2018) estudou a quantificação de compostos bioativos como os teores de antocianinas, flavonoides, pectina total e pectina solúvel em frutos de Umbu (*S. tuberosa*) e cajá (*S. mombin*) da vegetação nativa do estado de Alagoas. Os autores concluíram que o fruto de umbu apresentou maior teor de antocianinas totais e maior rendimento de pectina, enquanto que, o fruto de cajá apresentou maior conteúdo de flavonoides totais, inferindo ambos como fontes potenciais de antioxidantes naturais para a dieta humana.

Dentre todos os artigos selecionados nesta revisão, as espécies de *Spondias* com o maior número de publicações foi a *S. mombin* (cajá) (n= 262) e a *S. tuberosa* (umbu) (n= 186) (**Figura 4**). Outras espécies também analisadas nos artigos selecionados foram: *S. purpurea*, serigueta, (n=75), *S. dulcis* ou *S. cytherea*, cajá-manga, (n=70); *Spondias* sp., umbu-cajá, (n=58); *S. pinnata* (L. fil.) Kurz, manga da china, (n=29); *S. lutea*, sinonímia botânica de *S. mombin* (n= 17); *S. bahiensis*, umbu-cajá, (n=9), *Spondias* spp. (n=9); *S. venulosa*, cajá-grande, (n=5), *S. mangifera* (n=5), *S. macrocarpa* (n=4); *S. radlkoferi*, ameixa-da-Espanha, (n=3); *S. testudinis* (n=2); *S. axillaris* (n=2) e *S. lakonensis* (n=1). Os outros artigos (n=72) abordavam ou citavam duas ou mais espécies de *Spondias*.

As pesquisas com a espécie *S. mombin* abrangeu muitas temáticas incluindo o potencial farmacológico e medicinal (BRITO et al., 2018; SIQUEIRA et al., 2020; SAMUGGAM et al., 2021), a qualidade e utilização dos frutos (CAVALCANTE et. al., 2009; SILVINO et al., 2017; MARQUES et. al., 2018), a caracterização molecular e a diversidade genética (LIMA et al., 2011; SILVA et al., 2017; PEREIRA et al, 2019), dentre outras.

Figura 4. Número absoluto (n) de artigos publicados de acordo com a espécie de *Spondias*.



Destaca-se, para a espécie *S. bahiensis*, os estudos sobre as relações felogênicas e hibridização (ALMEIDA et al., 2007; NOBRE et al., 2018; BALBINO et al., 2019; SANTOS e ALMEIDA, 2019), a elaboração de cerveja artesanal (VALENTIM et al., 2021), a determinação de vitaminas hidrossolúveis (ASSIS et al., 2020), dentre outros.

Como *S. bahiensis* era considerada um híbrido até o ano de 2015, alguns estudos (n= 58) as denominavam *Spondias sp.*, umbu-cajá ou umbu-cajazeira. Entre estes se destacam as pesquisas sobre a qualidade (GONDIM et al., 2013), caracterização físico-química (LIMA et al., 2002; CARVALHO et al., 2008; SILVA, 2014) e parasitoides (SANTOS et al., 2004; CARVALHO et al., 2010) dos frutos, assim como as interrelações genéticas entre as espécies do gênero *Spondias* (SANTOS e OLIVEIRA, 2008).

Como descrito anteriormente, a maioria dos artigos evidenciaram aspectos relacionados às propriedades farmacológicas e medicinais, biotecnologia e beneficiamento, e fisiologia e anatomia de *Spondias*, tendo um número superior a 100 publicações cada. Neste ponto, ressalta-se que mesmo sendo importantes para o conhecimento da espécie vegetal, para as estratégias de conservação e de melhoramento genético, e principalmente para a agricultura (NADIA et al., 2007; CRISTOBAL-PEREZ et al., 2021), os artigos relacionados com a biologia

reprodutiva, floral, visitantes florais e polinizadores foram pronunciadamente mais escassos (n= 20) (**Tabela 1**).

Tabela 1. Síntese dos artigos encontrados sobre biologia floral, reprodutiva e visitantes florais de *Spondias*.

| | ARTIGO | AUTORES | ANO | PERIODICO CIENTÍFICO | PAÍS | OBJETIVO | RESULTADOS |
|---|--|---|------|---------------------------------|------------|---|---|
| 1 | Contribución al estudio de la anatomía floral y de la polinización del Jobo (<i>Spondias Mombin</i> L.) | Lozano, N. B. de. | 1986 | Caldasia | Colômbia | Estudar as estruturas internas das partes florais, os tipos de flores e o mecanismo de polinização de <i>Spondias mombin</i> L. | <i>Spondias mombin</i> L. formada por centenas de flores, cinco pétalas esbranquiçadas refletidas na antese, dez estames com anteras intraestaminal, flores hermafroditas, masculinas e femininas; polinização anemófila. |
| 2 | Pollen sources for <i>Apis mellifera</i> L. (Hym, Apidae) in Surinam, based on pollen grain volume estimates | Biesmeijer, J.C.; Van Marwijk, B.; Van Deursen, K.; Punt, W.; Sommeijer, M.J. | 1992 | Apidologie | Suriname | Identificar e comparar as fontes de pólen e determinar como essas fontes florais variam durante o ano. | Tipos de pólen que foram periodicamente importantes: <i>Ceiba pentandra</i> , Myrtaceae type 1, <i>Abutilon</i> type, <i>Spondias mombin</i> e <i>Terminalia</i> sp. |
| 3 | Desarrollo del Jocote (<i>Spondias purpurea</i> L.) Y Del Cas (<i>Psidium friedrichsthalianum</i> (Berg.) Niedz) En el bosque Húmedo Premontano de Costa Rica. | Baraona, Marcia; Rivera, German. | 1995 | Revista Agronomia Mesoamericana | Costa Rica | Estudar o Desenvolvimento do jocote (<i>Spondias purpurea</i> L.) nas condições da floresta premontano da Costa Rica. | As flores são perfeitas, possivelmente autógamas e com polinização entomófila. Eles crescem em pares axilas das folhas ou terminalmente em brotos novos. A floração, embora seja principalmente cíclica, apresenta períodos de sobreposição entre a floração e a frutificação. Embora haja flores durante todo o ano, o período de pico começa em março e continua até julho. |

Tabela 1. Síntese dos artigos encontrados sobre biologia floral, reprodutiva e visitantes florais de *Spondias*. (continuação)

| | | | | | | | |
|---|---|---|------|--------------------------------|--------|--|---|
| 4 | Reproductive Phenology of a Tropical Canopy Tree, <i>Spondias mombin</i> . | Adler, G. H.; Kielinski, K. A. | 2000 | Biotropica | Panamá | Determinar o grau de sincronia de floração e frutificação entre as populações. | <i>Spondias mombin</i> foi sazonal e altamente síncrona em flores e produção de frutas entre as ilhas e ao longo dos anos. A atividade reprodutiva síncrona em <i>S. mombin</i> provavelmente foi devido a respostas a estímulos ambientais próximos. Sugere-se que a variação pode ter sido devida, em parte, a diferenças temporais e espaciais na abundância de polinizadores. |
| 5 | Polinização de <i>Spondias tuberosa</i> Arruda (Anacardiaceae) e análise da partilha de polinizadores com <i>Ziziphus joazeiro</i> Mart. (Rhamnaceae), espécies frutíferas e endêmicas da caatinga. | Nadia, T. D. L.; Machado, I. C.; Lopes, A. V. | 2007 | Revista brasileira de botânica | Brasil | Estudar a biologia floral e reprodutiva de <i>Spondias tuberosa</i> e partilha de polinizadores com <i>Ziziphus joazeiro</i> Mart. | <i>Spondias tuberosa</i> é andromonóica, com flores hermafroditas e masculinas em uma mesma inflorescência. Os visitantes florais foram: espécies de vespas, seis de abelhas e quatro de moscas. |
| 6 | Estimativas de polinização cruzada na população de <i>Spondias tuberosa</i> Arruda (Anacardiaceae) usando o marcador AFLP | Santos, C. A. F.; Oliveira, V. R. D.; Rodrigues, M. A.; Ribeiro, H. L. C.; Drumond, M. A. | 2011 | Árvore | Brasil | Estimativas de polinização cruzada na população de <i>Spondias tuberosa</i> . | Os resultados indicam que o umbuzeiro é predominantemente de polinização aberta e cruzada. |

Tabela 1. Síntese dos artigos encontrados sobre biologia floral, reprodutiva e visitantes florais de *Spondias*. (continuação)

| | | | | | | | |
|---|---|--|------|-----------------------------------|--------|--|--|
| 7 | Caracterización morfológica de ciruela (<i>Spondias purpurea</i> L.) en três municipios del estado de Tabasco, México | Simon, Georgina Vargas; Cupil, Román Hernández; Ordoñez, Eduardo Moguel. | 2011 | Revista Bioagro | México | Conhecer as características morfológicas das variedades de ameixa (<i>Spondias purpurea</i>) localizado em três municípios de Tabasco, México. | Para as quatro variedades de ameixa, as flores encontradas em inflorescências semelhantes a panículas axilares. Possuem de sete a doze flores alternadas; as flores são pentâmeras. Os periantos das flores eram diferentes em cores |
| 8 | Pollen storages in nests of bees of the genera <i>Partamona</i> , <i>Scaura</i> and <i>Trigona</i> (Hymenoptera, Apidae) | Rech, A.R.; Absy, M.L. | 2011 | Revista Brasileira de Entomologia | Brasil | Analisar o pólen armazenado por colônias de abelhas sem ferrão distribuídas ao longo do Rio Negro. | O tipo polínico mais comum foi Myrtaceae, presente em 30,1% das amostras polínicas analisadas. A espécie <i>Spondias mombin</i> foi consideradas atrativas (frequência > 10%). |
| 9 | Reproductive biology of <i>Spondias tuberosa</i> Arruda (Anacardiaceae), an endemic fructiferous species of the caatinga (dry forest), under different management conditions in northeastern Brazil | Almeida, A.L.S.; Albuquerque, U.P.; Castro, C.C. | 2011 | Journal of Arid Environments | Brasil | Compara a produção de flores e frutos, visitantes florais, taxas de visitação e sucesso reprodutivo emergente (PERS) de <i>Spondias tuberosa</i> (Anacardiaceae) em uma área de floresta seca no NE do Brasil. | Os resultados mostram que a biologia reprodutiva de plantas em ecossistemas semiáridos pode ser modificada pela ação humana e que mudanças na produção floral e guildas de polinizadores são os efeitos mais evidentes. No entanto, o manejo tradicional realizado pela população local pode não afetar o sucesso reprodutivo das espécies vegetais. |

Tabela 1. Síntese dos artigos encontrados sobre biologia floral, reprodutiva e visitantes florais de *Spondias*. (continuação)

| | | | | | | | |
|----|---|--|------|---|--------|--|---|
| 10 | Africanized honey bees pollinate and preempt the pollen of <i>Spondias mombin</i> (Anacardiaceae) flowers. | Carneiro, L.T.; Martins, C.F. | 2012 | Apidologie | Brasil | Quantificar a produção de pólen e colheita, verificar se as abelhas melíferas competem de forma exploradora com as nativas e identificar polinizadores de <i>Spondias mombin</i> . | As flores deiscetes noturnas tinham os pólenes coletados por abelhas e atraiu várias espécies de abelhas noturnas e diurnas. Os resultados sugerem que as abelhas melíferas reduzem o benefício de forrageamento das abelhas nativas tardias. |
| 11 | Análisis del contenido polínico de mieles producidas por <i>Apis mellifera</i> L. (Hymenoptera: Apidae) en el estado de Tabasco, México | Castellanos-Potenciano, B. P.; Ramírez-Arriaga, E.; Zaldivar-Cruz, J. M. | 2012 | Acta zoologica mexicana | México | Estudar amostras de mel de <i>Apis mellifera</i> L com métodos melissopalínológicos. | Os pólenes de 29 táxons, a maioria pertencente à flora nativa, entre as espécies da flora estão <i>Spondias mombin</i> e <i>Spondias radlkoferi</i> (Anacardiaceae). |
| 12 | Bee floral visitors, pollination efficiency and pollination requirements in <i>Spondias mombin</i> . | Oliveira, M.O.de; Souza, F.X. de; Freitas, B.M. | 2012 | Revista acadêmica Ciências agrárias e ambientais. | Brasil | Investigar os visitantes florais e sua eficiência de polinização em relação às exigências de polinização de <i>Spondias mombin</i> . | Entre os visitantes florais, <i>Apis mellifera</i> foi a única espécie em que o comportamento de forrageamento, abundância e frequência de visitas às flores atenderam aos requisitos de polinização de <i>S. mombin</i> . |

Tabela 1. Síntese dos artigos encontrados sobre biologia floral, reprodutiva e visitantes florais de *Spondias*. (continuação)

| | | | | | | | |
|----|--|---|------|---|----------|--|---|
| 13 | AFLP estimation of the outcrossing rate of <i>Spondias tuberosa</i> (Anacardiaceae), an endemic species to the Brazilian semiarid region | Fernandes Santos, C.A; de Souza Gama, R.N.C. | 2013 | Revista de biología tropical | Brasil | Estimar as taxas de cruzamento em <i>S. tuberosa</i> usando um modelo multilocus misto para orientar recursos genéticos e programas de melhoramento desta espécie. | As estimativas de cruzamento obtidas no presente estudo indicam que <i>S. tuberosa</i> é uma espécie de polinização aberta. |
| 14 | Análisis polínico del propóleo rojo de la zona insular de San Andrés, Colombia | Salamanca-Grosso, Guillermo Osorio-Tangarife Mónica Patricia | 2019 | Revista de la Real Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales | Colombia | Estudar os sedimentos polínicos de mostras de própolis vermelho da ilha de San Andrés e analisar quais são os polens das espécies botânicas que estão presentes na própolis. | Foram reconhecidos 46 tipos polínicos em 29 famílias botânicas, com predominância de <i>Cyperus haematodes</i> , <i>Avicennia germinans</i> , <i>Sesuvium portulacastrum</i> , <i>Cocos nucifera</i> e <i>Spondias mombin</i> . As famílias com maior número de tipos polínicos foram Acanthaceae, Aizoaceae, Arecaceae, Combretaceae e Rhizophoraceae. |
| 15 | Meiotic Behavior and Pollen Viability of <i>Spondias mombin</i> L.: Native Fruit Species of the Amazon | Zortéa, K. É. M.; Rossi, A. A. B.; Bispo, R. B.; Rocha, V. D. da; Hoogerheide, E. S. S. | 2019 | Revista Floresta e Ambiente | Brasil | Examinar o comportamento meiótico e a viabilidade polínica de <i>S. mombin</i> . | A viabilidade polínica não diferiu entre flores masculinas (96,3%) e hermafroditas (96,7%) e a média geral de pólen viável foi considerada alta (96,5%). A germinação polínica ocorreu em todos os meios testados. As maiores médias de germinação do pólen ocorreram após 36h de incubação. As informações obtidas podem ser usadas no planejamento e implementação de cultivos comerciais da espécie. |

Tabela 1. Síntese dos artigos encontrados sobre biologia floral, reprodutiva e visitantes florais de *Spondias*. (continuação)

| | | | | | | | |
|----|---|--|------|-----------------------------------|--------|---|---|
| 16 | Floral morpho-anatomy and reproductive ecology of <i>Spondias macrocarpa</i> Engl. (Anacardiaceae), a vulnerable neotropical andromonoecious tree | Tavares, M. C.; Tölke, E. D.; Nunes, C. E. P.; Carmello-Guerreiro, S. M. | 2020 | Flora | | Examinar a morfo-anatomia floral e o sistema reprodutivo desta espécie para melhor entender a função sexual de diferentes morfologias florais e o papel dos polinizadores em sua reprodução. | Foram encontradas flores bissexuais e masculinas na mesma inflorescência. <i>S. macrocarpa</i> é andromonóica com monoica críptica e sistema de autoincompatibilidade. Em condições naturais, <i>S. macrocarpa</i> apresenta um polinizador generalista, sendo as pequenas abelhas sem ferrão seus principais visitantes florais. |
| 17 | Janzen-Connell effects shape gene flow patterns and realized fitness in the tropical dioecious tree <i>Spondias purpurea</i> (ANACARDIACEAE) | Cristóbal-Pérez, E. Jacob; Fuchs, Eric J; Olivares-Pinto, Ulises; Quesada, Mauricio. | 2020 | Revista Scientific Reports | México | Analisar a estrutura genética em relação aos padrões de fluxo gênico e aptidão em a árvore dióica, polinizada por insetos e dispersa por sementes de vertebrados, <i>Spondias purpurea</i> L. | Os resultados indicaram que a razão sexual propicia para os indivíduos masculinos desta espécie se deve à reprodução precoce dos mesmos. Tanto os doadores de pólen de longa distância quanto os dispersores de sementes de longa distância são de indivíduos masculinos. |
| 18 | Pollinating potential of bee floral visitors of <i>Spondias mombin</i> (Anacardiaceae) cultivated in northeastern Brazil | De Oliveira, M. O.; Bomfim, I. G. A.; Cavalcante, M. C.; Contrera, F. A. L.; De Souza, F. X.; Freitas, B. M. | 2020 | Research, Society And Development | Brasil | Estudar a relação entre <i>Spondias mombin</i> com seus visitantes florais, investigar a receptividade do estigma e o padrão de floração e polinização desta espécie vegetal. | A receptividade do estigma coincidiu com a época em que as abelhas estavam forrageando. De acordo com o comportamento das abelhas nas flores, horário de visita, abundância e frequência na área estudada, concluímos que <i>Apis mellifera</i> , <i>Trigona spinipes</i> , <i>Xylocopa grisescens</i> e <i>Augocloropsis</i> sp., são potenciais polinizadores de <i>S. mombin</i> . |

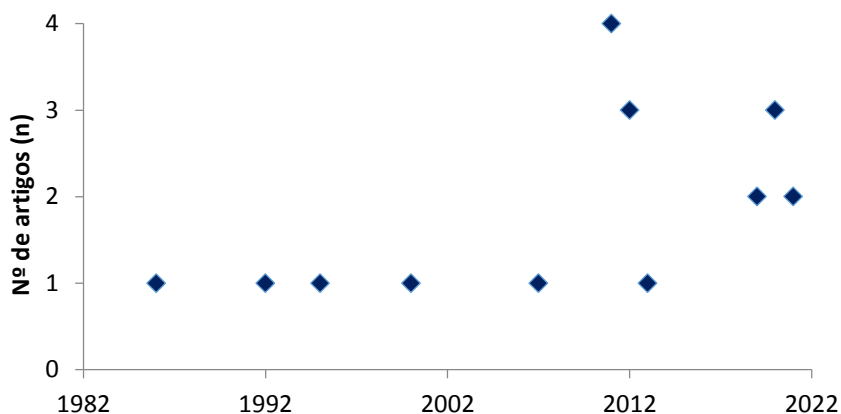
Tabela 1. Síntese dos artigos encontrados sobre biologia floral, reprodutiva e visitantes florais de *Spondias*. (continuação)

| | | | | | | | |
|----|---|---|------|---|--------|---|--|
| 19 | Flower Structure and Development of <i>Spondias tuberosa</i> and <i>Tapirira guianensis</i> (Spondioideae): Implications for the Evolution of the Unisexual Flowers and Pseudomonomy in Anacardiaceae | Tölke, E.D.; Demarco, D.; Carmello-Guerreiro.; S.M.; Bachelier, J.B. | 2021 | International Journal of Plant Sciences | Brasil | Estudar a estrutura e o desenvolvimento das flores usando de <i>S. tuberosa</i> . | Ambas as espécies compartilham flores morfológicamente bissexuais gineceu com um ovário sincárpico. Além disso, a posição de seu único lóculo fértil varia em cada flor e em <i>S. tuberosa</i> permanece incerta até o desenvolvimento dos óvulos. |
| 20 | Habitat fragmentation negatively affects effective gene flow via pollen, and male and female fitness in the dioecious tree, <i>Spondias purpurea</i> (Anacardiaceae) | Cristóbal-Pérez, E.J.; Fuchs, E.J.; Martén-Rodríguez, S.; Quesada, M. | 2021 | Biological Conservation | México | Avaliar os efeitos da fragmentação florestal nas interações planta-polinizadores, sucesso reprodutivo masculino e feminino, fluxo gênico e diversidade genética de <i>Spondias purpurea</i> . | As abelhas sem ferrão foram os principais polinizadores seguidos por vespas e moscas. As árvores masculinas produziram mais flores do que as árvores femininas em ambas as condições de habitat. Os resultados sugerem que os sistemas de acasalamento e a dependência de polinizadores são elementos-chave que influenciam a vulnerabilidade das plantas à fragmentação do habitat. |

Desta forma, uma análise mais detalhada destes artigos foi realizada e a quantidade dos estudos por ano de publicação, está representada na **Figura 5**, indicando que em 2011 (n= 4) e 2012 (n= 3) houve maior número de publicações.

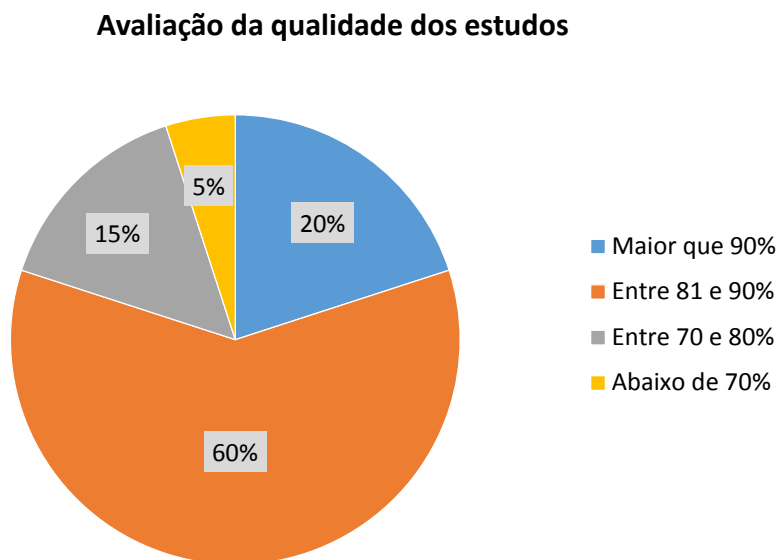
Vale ressaltar que alguns estudos (a maioria realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa) sobre a biologia floral e polinizadores de *Spondias* não foram incluídos nesta revisão sistemática, pois foram encontrados somente como resumos de congressos e capítulos de livros.

Figura 5. Distribuição por ano do número de publicações relacionadas à biologia floral, biologia reprodutiva e visitantes florais de espécies do gênero *Spondias*.



Na avaliação da qualidade, dos 20 artigos com pesquisas sobre a biologia floral, reprodutiva e polinizadores de *Spondias*, denota-se que a maioria (60%) obteve pontuações acima de 81%. 20% dos artigos obtiveram pontuação acima de 90%, demonstrando aspectos que os definem como pesquisas de qualidade (**Figura 6**).

Figura 6. Análise da qualidade dos artigos, segundo fator de impacto e descrição clara da definição do problema, objetivos, hipótese, desenho do estudo, metodologia, coleta de dados, resultados, discussão e conclusão. Pontuação variando de 0 a 3, com máximo 30 pontos (100%).



3.1 Biologia Floral e Reprodutiva de *Spondias*

A pesquisa de Nadia et al. (2007) se destaca por ser um trabalho que aborda tanto a biologia floral quanto a reprodutiva, assim como os visitantes florais de *S. tuberosa*. Os resultados indicaram que *S. tuberosa* é andromonóica, com flores hermafroditas e masculinas em uma mesma inflorescência, a antese ocorre às 5h00 e oito espécies de vespas, seis de abelhas e quatro de moscas visitaram suas flores.

A *Spondias tuberosa* também foi estudada no Nordeste em diferentes condições de manejo, e os resultados demonstraram que a biologia reprodutiva das plantas em ecossistemas semiáridos pode ser modificada pela ação humana e que mudanças na produção floral e guildas de polinizadores são os efeitos mais evidentes (ALMEIDA et al., 2011).

A espécie *S. purpurea* foi descrita por Baraona e Rivera (1995) como sendo possivelmente autógama, com flores perfeitas (hermafroditas) e polinização entomófila. Durante a caracterização morfológica desta espécie, Simon et al. (2011) observaram que para as quatro variedades encontradas, as flores eram

pentâmeras, estavam em inflorescências semelhantes a panículas axilares e, seus periantos eram diferenciados por cores distintas.

Os pesquisadores Tavares et al. (2020) analisaram a morfoanatomia floral e a ecologia reprodutiva de *Spondias macrocarpa* e a caracterizaram como andromonóica, ou seja, com flores bissexuais e masculinas na mesma inflorescência. As flores se organizavam em panículas, estando as masculinas principalmente na base da inflorescência e as hermafroditas no ápice da panícula. Ainda de acordo com estes autores, todas as flores de *S. macrocarpa* possuem grãos de pólen funcionais e viáveis, que são liberados na antese. A espécie exibe apenas um episódio de floração por ano, concentrada de outubro a dezembro, com pico de floração principalmente no primeiro mês.

Os parâmetros relativos à anatomia floral, como a estrutura do gineceu e o desenvolvimento das flores morfológicamente bissexuais e funcionalmente unissexuais, foram estudados nas espécies *Spondias tuberosa* e *Tapirira guianensis* por Tolke et al. (2021).

Cristobal-Perez et al. (2021) analisaram aspectos da abundância de visitantes florais e a biologia reprodutiva da espécie *Spondias purpurea* em diferentes ambientes, verificando a fragmentação do habitat e como esta fragmentação poderia afetar negativamente o fluxo gênico e a efetividade da polinização nas árvores dioicas.

3.2 Visitantes florais de *Spondias*

Diversos são os visitantes florais das espécies de *Spondias*. Estas podem ser visitadas durante a noite, no início da manhã e perdurar até algumas horas da tarde (NADIA et al., 2007; ALMEIDA et al., 2011; CARNEIRO e MARTINS, 2012).

As abelhas que são visitantes florais, a eficiência e os requisitos da polinização em *Spondias mombin* foram estudados por Oliveira et al. (2012), indicando as espécies de *Apis mellifera* L. e a *Trigona spinipes* (Fabr.) (Hymenoptera: Apidae) como as mais abundantes, e a *A. mellifera* como o potencial polinizador do vegetal. Em uma pesquisa com a espécie *S. mombin* também foi demonstrado que, dentre as 17 espécies de abelhas visitantes, a *A. mellifera* era a mais frequente nas visitas às suas flores (CARNEIRO e MARTINS, 2012).

Por meio da análise do conteúdo polínico de méis produzidos por *Apis mellifera*, Castellanos-Potenciano et al. (2012) demonstraram que as espécies *Spondias mombin* e *Spondias radlkoferi* foram visitadas e tiveram seus pólenes coletados.

Segundo Almeida et al. (2011), os visitantes florais da espécie *Spondias tuberosa* estão ativos a partir das 5h e visitam a flor durante todo o dia, porém, preferem horários com temperaturas mais amenas. Nesse estudo, os visitantes florais mais frequentes na *S. tuberosa* foram: abelhas, borboletas, vespas e moscas. Um total de dezenove morfoespécies de invertebrados foi registrado durante o estudo.

A pesquisa realizada por Nadia et al. (2007) demonstrou, que tanto no início como no pico de floração, as visitas às flores de *Spondias tuberosa* começavam por volta das 6h e não ultrapassava as 16h. Os visitantes florais registrados mais assíduos e considerados os principais polinizadores foram as abelhas e vespas, com destaque para as espécies *Scaptotrigona postica flavisetis* Moure, *Trigona fuscipennis* Friese (Apidae) e *Polybia ignobilis* Haliday (Vespidae).

Entre os visitantes florais da espécie *S. mombin*, 92,7% foram Apoidea (abelhas), 4,5% Diptera, 1,2% Formicidae, 0,9% Vespidae e 0,8% Curculionidae. Os pesquisadores denotaram que esta espécie poderia atrair abelhas noturnas e crepusculares por produzir um rico recurso polínico e ser uma árvore de floração síncrona com flores deiscentes noturnas (CARNEIRO e MARTINS, 2012). Na pesquisa realizada por Oliveira et al. (2012) os visitantes florais mais assíduos da cajazeira foram todos pertencentes à ordem Hymenoptera, sendo três famílias de abelhas e uma de vespa.

Em um estudo com *S. purpurea* foram observadas um total de 1.171 visitas de insetos no habitat contínuo e 489 no habitat fragmentado. As flores de *S. purpurea* foram visitadas principalmente por três espécies de abelhas (*Apis mellifera*, *Trigona nigra* e *Trigona fulviventris*), três espécies de vespas (*Polistes* spp. e *Mischocyttarus* sp.) e duas espécies de moscas (Tachinidae sp. e Syrphidae sp.) (CRISTOBAL-PEREZ et al., 2021).

Tavares et al. (2020) verificaram que as flores de *S. macrocarpa* foram visitadas por 15 espécies de insetos, incluindo abelhas, moscas e besouros não sirfídeos, sendo as abelhas os visitantes mais frequentes (65%). Neste estudo os autores evidenciaram que devido ao tamanho pequeno das flores, todos os

visitantes tocavam os estigmas ou as anteras, por isso foram considerados como polinizadores.

3.3 *Spondias* e as abelhas

De acordo com os estudos realizados, existe uma gama de visitantes florais e polinizadores de espécies de *Spondias*, porém, as abelhas são os principais visitantes e possivelmente as polinizadoras efetivas de muitas espécies do gênero.

Em relação à espécie *S. mombin*, os autores descreveram que as flores da espécie atraíam principalmente as abelhas (CARNEIRO e MARTINS, 2012; OLIVEIRA et al., 2020). A relação entre esta espécie e as abelhas também foi relatada por Oliveira et al. (2020), através da descrição da receptividade do estigma com a abundância, frequência e comportamento destes insetos, inferindo que as espécies de *Apis mellifera*, *Trigona spinipes*, *Xylocopa grisescens* e *Augocloropsis* sp. foram os potenciais polinizadores.

No estudo de Oliveira et al. (2012), as abelhas também representaram a maioria dos visitantes florais da cajazeira, sendo a *A. mellifera* e a *T. spinipes* as espécies mais abundantes. Neste estudo, a *A. mellifera* apresentou comportamento de forrageio e frequência às flores que atende aos requerimentos de polinização da cajazeira, sendo o potencial polinizador. Carneiro e Martins (2012) também evidenciaram o registro de dezessete espécies de abelhas visitantes das flores da cajazeira, com uma frequência bastante elevada (71%) para a *A. mellifera*.

Cristobal-Perez et al. (2021) referiram as abelhas sem ferrão, vespas e moscas como os principais polinizadores da *S. purpurea*. Esse padrão também foi descrito por Almeida et al. (2011), que observaram um elevado número de espécies que visitam *S. tuberosa*, porém, as abelhas foram responsáveis por mais de 73,5% das visitas.

Segundo Tavares et al. (2020) os principais visitantes florais de *S. macrocarpa* também foram as abelhas, que carregavam os grãos de pólen das flores masculinas localizadas na base, e se deslocavam em direção às flores

bissexuais, facilitando a deposição de pólen sobre os estigmas das flores bissexuais. Neste estudo, as abelhas que mais visitaram as flores de *S. macrocarpa* foram *Trigona spinipes* (34,64%), *Tetragonisca angustula* (28,39%) e *Apis mellifera* (13,54%). A presença dessas abelhas generalistas reforça a percepção de que o sistema de polinização da *S. macrocarpa*, assim como de outras espécies de Anacardiaceae, é provavelmente generalista.

4. CONCLUSÕES

Esta revisão sistemática evidenciou que apesar do gênero *Spondias* ter ampla pesquisa em diversas áreas, tornam-se ainda necessários estudos que abordem mais detalhadamente as características reprodutivas (biologia floral, os polinizadores, biologia reprodutiva) das espécies do gênero, por permitirem melhor entendimento sobre as relações existentes entre a planta e o visitante floral, e o valor ecossistêmico do serviço prestado por polinizadores, que são extremamente importantes para agricultura e as comunidades humanas.

Nota-se que as abelhas são os principais polinizadores das espécies de *Spondias*, como destaque para *Apis mellifera* e *Trigona* spp.

Além disso, considerando que a *S. bahiensis* só foi descrita como espécie natural e não híbrida, e que não existem trabalhos sobre biologia floral e polinizadores da espécie, fazem-se necessárias mais investigações para o aprimoramento do conhecimento sobre esta.

5. REFERÊNCIAS

ADLER, G. H.; KIELPINSKI, K. A. Reproductive Phenology of a Tropical Canopy Tree, *Spondias mombin* 1. **Biotropica**, v.32 p.686-692, 2000.

AIRY SHAW, H.; FORMAN, L. L. The genus *Spondias* L. (Anacardiaceae) in tropical Asia. **Kew Bulletin**, v.21: 1, p. 1-20, 1967.

ALMEIDA, A. L. S.; ALBUQUERQUE, U. P.; CASTRO, C. C. Reproductive biology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), an endemic fructiferous species of the caatinga (dry forest), under different management conditions in northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.75, n.4, p.330-337, 2011.

ALMEIDA, C. C. DE S.; CARVALHO, P.C. DE L.; GUERRA, M. Karyotype differentiation among *Spondias* species and the putative hybrid Umbu-cajá (*Anacardiaceae*). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 155, n. 4, p.541-547, 2007.

ALMEIDA, C. L. F. DE, BRITO, S. A., DE SANTANA, T. I., COSTA, H. B. A., DE CARVALHO JÚNIOR, C. H. R., DA SILVA, M. V.; DA SILVA, T. G. *Spondias purpurea* L. (*Anacardiaceae*): antioxidant and antiulcer activities of the leaf hexane extract. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, 2017.

ALMEIDA, J. P. N. DE, LEITE, G. A., MENDONÇA, V., CASTRO FREITAS, P. S. DE, ARRAIS, I. G.; SILVA TOSTA, M. DA. Concentrações de AIB e substratos no enraizamento e vigor de estacas lenhosas de cajaraneira. **Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n.1, p.11-18, 2017.

ARAÚJO R. R., SANTOS, E. D., FARIAS, D. B. dos S., LEMOS, E. E.P de, Alves, R. E. *Spondias bahiensis*: Umbu-cajá, in: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial, plantas para o futuro: Região Nordeste. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, p.279-286, 2018.

ASANTE AMPADU, G. A.; MENSAH, J. O.; DARKO, G.; BORQUAYE, L. S. Essential Oils from the Fruits and Leaves of *Spondias mombin* Linn.: Chemical Composition, Biological Activity, and Molecular Docking Study. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, 2022

ASSIS, R.C de.; SOARES, R.D.L.G.; SIQUEIRA, A.C.P.; ROSSO, V.V. DE, SOUSA, P.H.M. DE., MENDES, A.E.P., COSTA, E.DE A. CARNEIRO, A, P. DE G.; MAIA, C. S. C. Determinação de vitaminas hidrossolúveis e carotenóides em frutas tropicais brasileiras por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência. **Heliyon**, v.6, p.10, 2020.

BACHELIER J.B; ENDRESS P.K. Comparative floral morphology and anatomy of *Anacardiaceae* and *Burseraceae* (*Sapindales*), with a special focus on gynoecium structure and evolution. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.159, p.499-571, 2009.

BALBINO, E.; MARTINS, G.; MORAIS, S.; ALMEIDA, C. Genome survey and development of 18 microsatellite markers to assess genetic diversity in *Spondias tuberosa* Arruda Câmara (*Anacardiaceae*) and cross-amplification in congeneric species. **Molecular Biology Reports**, v.46, n.3, p.3511-3517, 2019.

BARAONA, M.; RIVERA, G. Desarrollo del jocote (*Spondias purpurea* L.) y del cas (*Psidium friedrichstzalianum* (Berg.) Niedz) en el bosque húmedo premontano de Costa Rica. **Agronomy Mesoamerican**, p. 23-31, 1995.

BIESMEIJER, J. C., VAN MARWIJK, B., VAN DEURSEN, K., PUNT, W., & SOMMEIJER, M. J. Pollen sources for *Apis mellifera* L (Hym., Apidae) in Surinam, based on pollen grain volume estimates. **Apidologie**, v. 23, n. 3, p.245-256, 1992.

BRITO, S. A., BARBOSA, I. S., DE ALMEIDA, C. L., DE MEDEIROS, J. W., SILVA NETO, J. C., ROLIM, L. A., SILVA, T.F.DA., XIMENES, R.M. MENEZES, I. R.A., CALDAS, G.F.R. & WANDERLEY, A.G. Evaluation of gastroprotective and ulcer healing activities of yellow mombin juice from *Spondias mombin* L. **PloS one**, v.13, n.11, 2018.

BRITTO, F. F., DIAS, D. L. O. AMARAL, C. L. MAFFEI, E. M. D. LIBARIANO, V. D. Determinação do sistema reprodutivo de parentais para produção de híbridos entre *P. cincinnata* Mast. e *P. quadrangularis* Linn. **Cultura Agrônômica**, v.27, n.4, p. 407-423, 2018.

CARNEIRO, L. T.; MARTINS, C. F. Africanized honey bees pollinate and preempt the pollen of *Spondias mombin* (Anacardiaceae) flowers. **Apidologie**, v.43, n.4, p. 474-486, 2012.

CARVALHO, P. C. L. D., RITZINGER, R., SOARES FILHO, W. D. S.; LEDO, C. A. D. S. Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbu-cajazeira no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p. 140-147, 2008.

CARVALHO, R. D. S.; SOARES FILHO, W. D. S.; RITZINGER, R.. Umbu-cajá como repositório natural de parasitoide nativo de moscas-das-frutas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1222-1225, 2010.

CASTELLANOS-POTENCIANO, B. P.; RAMÍREZ-ARRIAGA, E.; ZALDIVAR-CRUZ, J. M. Análisis del contenido polínico de mieles producidas por *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) en el estado de Tabasco, México. **Acta Zoológica Mexicana**, v.28, n.1, p.13-36, 2012.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M. D.; FREIRE, J. L. D. O.; PEREIRA, W. E., COSTA, A. D. P. M. D.; CAVALCANTE, Í. H. L. Componentes qualitativos do cajá em sete municípios do brejo paraibano. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p. 627-632, 2009.

CRISTÓBAL-PÉREZ, E. J.; FUCHS, E. J.; MARTÉN-RODRÍGUEZ, S.; QUESADA, M. Habitat fragmentation negatively affects effective gene flow via pollen, and male and female fitness in the dioecious tree, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). **Biological Conservation**, v. 256, 2021.

CRISTÓBAL-PÉREZ, E. J.; FUCHS, E. J.; OLIVARES-PINTO, U.; QUESADA, M. Janzen-Connell effects shape gene flow patterns and realized fitness in the tropical dioecious tree *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). **Scientific Reports**, v.10, n.1, p.1-12, 2020.

DANTAS, A. L.; SILVA, S. D. M.; DANTAS, R. L.; SOUSA, A. S. B. D.; SCHUNEMANN, A. P. P. Desenvolvimento, fisiologia da maturação e indicadores do ponto de colheita de frutos da umbugueleira (*Spondias* sp.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p.33-42, 2016.

FERNANDES SANTOS, C. A.; DE SOUZA GAMA, R. N. C. AFLP estimation of the outcrossing rate of *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae), an endemic species

to the Brazilian semiarid region. **Revista de Biologia Tropical**, v. 6. n. 2, p.577-582, 2013.

FONSECA, N.; MACHADO, C. D. F.; SILVA JUNIOR, J. F. DA.; CARVALHO, R. D. S.; RITZINGER, R.; ALVES, R.; MAIA, M. Umbu: cajá e espécies afins: *Spondias* spp. Embrapa Mandioca e Fruticultura INFOTECA-E, 2017.

FREITAS, M. A. DE, CRUZ, R. P. DA, SANTOS, A. T. L. DOS, ALMEIDA-BEZERRA, J. W., MACHADO, A. J. T., DOS SANTOS, J. F. S., ROCHA, J. E., BOLIGON, A. A. BEZERRA, C. F. FREITAS T. S. DE., SILVA, M. K. DO N. MENDONÇA, A. C. A. M. COSTA, J. G. M.. COUTINHO, H. D. M. CUNHA, F. A. B. DA. RIBEIRO FILHO, J.; MORAIS-BRAGA, M. F. B. HPLC–DAD analysis and antimicrobial activities of *Spondias mombin* L. (Anacardiaceae). **Biotech**, v.12 n.3, p.1-15, 2022.

GONDIM, P. J.; SILVA, S. D. M., PEREIRA, W. E.; DANTAS, A. L.; CHAVES NETO, J. R.; SANTOS, L. F. D. Qualidade de frutos de acessos de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p.1217-1221, 2013.

LACCHIA, A. P. S.; GUERREIRO, S. M. C. Ultra-structural aspects of secretory canals in vegetative and reproductive organs of Anacardiaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v.23, p.376-388, 2009.

LIMA, A. T. B., SOUZA, V. A. B. DE., GOMES, R. L. F.; LIMA, P. D. C. Molecular characterization of cajá, *Spondias mombin* (Anacardiaceae), by RAPD markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n.4, p. 2893-2904, 2011.

LIMA, E. D. P. D. A., LIMA, C. A. D. A., ALDRIGUE, M. L., & GONDIM, P. J. S. Caracterização física e química dos frutos da umbu-cajazeira (*Spondias* spp.) em cinco estádios de maturação, da polpa congelada e néctar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, p.338-343, 2002

LOZANO, N. B. de. Contribucion al estudio de la anatomia floral y de la polinizacion del jobo (*Spondias mombin* L.). **Caldasia**, p. 369-380, 1986.

MACHADO, C. D. F., DE OLIVEIRA, V. R., ALVES, R., VASCONCELOS, L., SOUZA, F. X. DE, RITZINGER, R., FONSECA, N.; SOARES FILHO, W. DOS S.; CASTRO, A. C. R. de. Bancos genéticos de cajá, umbu e espécies afins. Embrapa Semiárido (INFOTECA-E). p.120-140, 2021.

MACHADO, M. C.; CARVALHO, P. C. L.; VAN DEN BERG, C. Domestication, hybridization, speciation, and the origins of an economically important tree crop of *Spondias* (Anacardiaceae) from the Brazilian caatinga dry forest. **Neodiversity**. v. 8, n.1, p. 8-49, 2015.

MARQUES, C. S., GUIMARÃES, P. V. P., SMIDERLE, O. J.; DURIGAN, M. F. B. Qualidade agroindustrial de frutos de taperebazeiros (*Spondias mombin* L.) cultivados em áreas urbanas de Boa Vista, Roraima. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v.11, n.1, p. 296-307, 2018.

MEDEIROS, P. B. DA S., MENDES, T. M. F., GARCIA, V. L., DE OLIVEIRA, R. N., DUART, L. B., & ALLEGRETTI, S. M. The effect of *Spondias mombin* L. against *Strongyloides venezuelensis*: an in vitro approach. **Acta Tropica**, v. 234, 106617, 2022.

MILLER, A.; SCHAAL, B. Domestication of a Mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, v.102, p.12801-12806, 2005.

MITCHELL, J. D.; DALY, D. C. A revision of *Spondias* L. (Anacardiaceae) in the Neotropics. **Phytokeys**, v.55, p.1-92, 2015.

MOURA, F. T. D., SILVA, S. D. M., SCHUNEMANN, A. P. P.; MARTINS, L. P. Frutos do umbuzeiro armazenados sob atmosfera modificada e ambiente em diferentes estádios de maturação. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p. 764-772, 2013.

NADIA, T. DE L.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Polinização de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) e análise da partilha de polinizadores com *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), espécies frutíferas e endêmicas da Caatinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.1, p.89-100, 2007.

NASCIMENTO, D. C. A. DO, MOTA, K. DE L., CARTAXO, H. B., BRITO, S. A. DE, GALVÃO, J. G. F. M.; ANJOS, S. D. S. DOS. Atividades farmacológicas comprovadas para o gênero *Spondias*: uma revisão de literatura. **E-Acadêmica**, v. 3, n.2, 2022.

NOBRE, L. L. D. M.; SANTOS, J. D. O. D.; LEITE, R.; ALMEIDA, C. Phylogenomic and single nucleotide polymorphism analyses revealed the hybrid origin of *Spondias bahiensis* (family Anacardiaceae): de novo genome sequencing and comparative genomics. **Genetics and Molecular Biology**, v.41, p.878-883, 2018.

OLIVEIRA, M. O. DE, SOUZA, F. X. DE.; FREITAS, B. M. Bee floral visitors, pollination efficiency and pollination requirements in *Spondias mombin*. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 10 n.3, p.277-284, 2012.

OUZZANI, M. HAMMADY, H. FEDOROWICZ Z.; ELMAGARMID A. Rayyan- a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v.5, n.210, 2016.

PEREIRA, L. D., SOUZA, L. K. F. D., VALLE, K. D. D., GOMES, F. R., PINTO, J. F. N.; SILVA, D. F. P. D. Genetic diversity among red mombin fruits in the Southwest of Goiás. **Revista Ceres**, v.66, p.154-158, 2019.

PYKE, G. H. Plant–pollinator co-evolution: It's time to reconnect with Optimal Foraging Theory and Evolutionarily Stable Strategies. *Perspectives in Plant Ecology*, **Evolution and Systematics**, v.19, p.70-76, 2016.

RECH, A. R.; ABSY, M. L. Pollen storages in nests of bees of the genera *Partamona*, *Scaura* and *Trigona* (Hymenoptera, Apidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, p.361-372, 2011.

SAI, K., CHHETRI, S. B. B., DEVKOTA, S. R., & KHATRI, D. Evaluation of the Hypoglycemic Potential of Leaves Extract of *Spondias pinnata* (Lf) Kurz. from Nepal. **The Scientific World Journal**, p. 1-6. 2021.

SALAMANCA GROSSO, G., OSORIO TANGARIFE, M. P. Análisis polínico del propóleo rojo de la zona insular de San Andrés, Colombia. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 43, n. 169, p. 689-698, 2019.

SAMEH, S.; AL-SAYED, E.; LABIB, R. M.; SINGAB, A. N. Genus *Spondias*: A phytochemical and pharmacological review. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p. 13, 2018.

SAMUGGAM, S., CHINNI, S. V., MUTUSAMY, P., GOPINATH, S. C., ANBU, P., VENUGOPAL, V., REDDY, L. V.; ENUGUTTI, B. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Spondias mombin* extract and their antimicrobial activity against biofilm-producing bacteria. **Molecules**, v.26 n.9, p.2681, 2021.

SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; THADEO, M.; MEIRA, R. M. S. A.; ASCENSÃO, L. Anatomia e histoquímica das estruturas secretoras do caule de *Spondias dulcis* Forst. F.(Anacardiaceae). **Revista Árvore**, v. 30, p.481-489, 2006.

SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. D. Inter-relações genéticas entre espécies do gênero *Spondias* com base em marcadores AFLP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p.731-735, 2008.

SANTOS, E. F. DOS; ARAÚJO, R. R. DE.; LEMOS, E. E. P. DE.; ENDRES, L. Quantificação de compostos bioativos em frutos de umbu (*Spondias tuberosa* arr. câm.) e cajá (*Spondias mombin* L.) nativos de alagoas. **Revista Ciência Agrícola**, v. 16, n.1, p. 21-29, 2018.

SANTOS, E.F. DOS, PEREIRA, E.D, MENDES, D.S., PARAÍZO, E.A., DUARTE, A.B., PESSOA, H.P., FIGUEIREDO, J.C. Extension of umbu (*Spondias tuberosa* Arruda) postharvest life using a cassava starch-based coating. **Agronomia Colombiana**, v. 39 n.2, p. 293-299, Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Spondias mombin* extract and their antimicrobial activity against biofilm-producing bacteria.

SANTOS, V.; ALMEIDA, C. The complete chloroplast genome sequences of three *Spondias* species reveal close relationship among the species. **Genetics and Molecular Biology**, v. 42 p.132-138, 2019.

SANTOS, W. D. S.; DE CARVALHO, C. A.; MARQUES, O. M. Registro de *Neosilba zadolicha* McAlpine & Steyskal (Diptera: Lonchaeidae) em umbú-cajá (Anacardiaceae). **Neotropical Entomology**, v.33, p.653-654, 2004.

SILVA, B. M. DA, ROSSI, A. A. B., DARDENGO, J. F. E., TIAGO, P. V., SILVEIRA, G. F.; SOUZA, S. A. M. Genetic divergences between *Spondias mombin* (Anacardiaceae) genotypes found through morphological traits. **Revista de Biología Tropical**, v. 65, n.4, p. 1337–1346, 2017.

SILVA, G. A. DA, BRITO, N. J. N.DE, SANTOS, E. C. G.DOS, LÓPES, J. A.; ALMEIDA, M. DAS G.. Gênero *Spondias*: aspectos botânicos, composição química e potencial farmacológico. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 10, n.1. 2014

SILVA, L. R. da. Caracterização físico de frutos de genótipos de umbu-cajazeiras (*Spondias* sp.). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.13, n.2, p.151-157, 2014.

SILVA-LUZ, C.L.; PIRANI, J.R.; PELL, S.K.; MITCHELL, J.D. **Anacardiaceae in Flora e Fungos do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4402>. Acessado em: 20.10. 2022.

SILVINO, R., SILVA, G., DOS SANTOS, O. V. Qualidade nutricional e parâmetros morfológicos do fruto cajá (*Spondias mombin* L.). **Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v.4, n.2, p. 03-11, 2017.

SIMÓN, G.V.; CUPIL, R.H.; ORDOÑEZ, E.M. Caracterización morfológica de ciruela (*Spondias purpurea* L.): En tres municipios del Estado de Tabasco, México. **Bioagro**, v.23, n.2, p.141-149, 2011.

SIQUEIRA, E. M. D. S., LIMA, T. L., BOFF, L., LIMA, S. G., LOURENÇO, E. M., FERREIRA, É. G. BARBOSA, E.G., MACHADO, P. R. L., FARIAS, K. J. S., FERREIRA, L. DE S., ROCHA, H.A. DE O., SIMÕES, & ZUCOLOTTO, S. M. Antiviral potential of *Spondias mombin* L. Leaves extract against herpes simplex virus type-1 replication using in vitro and in silico approaches. **Planta Medica**, v.86, n.7, p. 505-515, 2020.

SOSA-MOGUEL, O.; PINO, J.A.; SAURI-DUCH, E.; CUEVAS-GLORY, L. Caracterização de compostos odoríferos em três variedades de frutos de ciruela (*Spondias purpurea* L.). **International Journal of Food Properties**, v.21, n.1, p. 1008-1016, 2018.

SOUZA, E. P. D.; MENDONÇA, R. M. N.; SILVA, S. D. M.; ESTRELA, M. A.; SOUZA, A. P. D.; SILVA, G. C. D. Enxertia da cajazeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.1, p. 316-320, 2010.

SOUZA, F. X. de.; COSTA, J. T. A. Produção de mudas das *Spondias cajazeira*, cajaraneira, cirigueleira, umbu-cajazeira e umbuzeiro. **Embrapa Agroindústria tropical**, v.26, 2010.

SOUZA, F. X. de. *Spondias* agroindustriais e os seus métodos de propagação frutas tropicais: cajá, ciriguela, cajarana, umbu, umbu-cajá e umbuguela. Embrapa-CNPAT/SEBRAE/CE. v. 28, 1998.

TAVARES, M.C.; TÖLKE, E.D.; NUNES, C.E.P.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. Morfo-anatomia floral e ecologia reprodutiva de *Spondias macrocarpa* Engl. (Anacardiaceae), uma árvore neotropical andromonóica vulnerável. **Flora**, v. 273, 2020.

TÖLKE, E. D.; DEMARCO, D.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; BACHELIER, J. B. Flower structure and development of *Spondias tuberosa* and *Tapirira guianensis* (Spondioideae): Implications for the evolution of the unisexual flowers and pseudomonomy in Anacardiaceae. **International Journal of Plant Sciences**, v.182, n.9, p.747-762, 2021.

VALENTIM, S. DOS S.; FONSECA, A. A. O.; SILVA, S. M. P. C. DA. Elaboração e avaliação da estabilidade de cerveja artesanal utilizando o umbu-cajá (*Spondias bahiensis*) e canela na maturação. **Diversitas Journal**, v. 6, n.1, p.114-136, 2021.

XAVIER, V. L.; FEITOZA, G. S.; BARBOSA, J.; MARIA, L.; ARAÚJO, K. S.; SILVA, M. V.; CORREIA, M.T. S.; SOUZA, M. P. DE; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. D. G. Nutritional and technological potential of Umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) processing by-product flour. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, 2022.

ZORTÉA, K. É. M.; ROSSI, A. A. B.; BISPO, R. B.; ROCHA, V. D. D.; HOOGERHEIDE, E. S. S. Meiotic behavior and pollen viability of *Spondias mombin* L.: native fruit species of the Amazon. **Floresta e Ambiente**, v.26, 2019

CAPÍTULO 2

BIOLOGIA FLORAL E REPRODUTIVA DE *Spondias bahiensis* P. CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO (ANACARDIACEAE) NO RECÔNCAVO BAIANO¹

¹Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico da Revista Caatinga.

**BIOLOGIA FLORAL E REPRODUTIVA DE *Spondias bahiensis*
P. CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO (ANACARDIACEAE)
NO RECÔNCAVO BAIANO**

RESUMO: O estudo da biologia floral e reprodutiva é imprescindível para entendimento dos fenômenos relacionados à formação das sementes e frutos e do ambiente em que os organismos estão inseridos. Objetivou-se estudar a biologia floral e reprodutiva de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado nas condições do Recôncavo Baiano. As avaliações foram realizadas em plantas estabelecidas da Coleção de Germoplasma de umbu-cajazeira instalada no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, na cidade de Cruz das Almas – Bahia. A fenologia foi estudada de abril de 2021 a abril de 2023. A viabilidade dos grãos de pólen foi realizada por meio de testes histoquímicos e da germinação *in vitro*. A receptividade do estigma foi determinada com peróxido de hidrogênio e solução de α -naftil acetato. Os sistemas reprodutivos foram verificados em campo e determinados pelos índices de autogamia e autoincompatibilidade. O tempo médio entre a indução floral até a colheita de frutos foi de aproximadamente 180 dias. A espécie floresce entre setembro a dezembro, frutifica de outubro a dezembro e o amadurecimento do fruto ocorre entre os meses de março a maio. *S. bahiensis* apresenta flores hermafroditas e estaminadas. As inflorescências são do tipo panícula e apresentaram em média, 263 flores $\pm 10,56$. A antese é diurna, com início às 4:00h prolongando-se até às 6:00h. Os testes histoquímicos resultaram em altas porcentagens de viabilidade dos grãos de pólen, com média de 89,71 %, independente do corante utilizado. Na germinação do grão de pólen *in vitro* não houve diferença estatística entre os meios de cultura, nem entre os morfos florais. Já entre os estádios, a antese apresentou maiores porcentagens de germinação. A receptividade estigmática ocorre juntamente à antese permanecendo até mais de 24h após a abertura floral. A espécie apresentou autoincompatibilidade e alogamia preferencial. Do ponto de vista da conservação, esta espécie apresenta tendência autoestéril e depende de polinizadores para manter a sua aptidão através da polinização cruzada. As informações obtidas neste estudo ajudam a entender os processos reprodutivos que ocorrem em *S. bahiensis*, podendo ser útil na implantação e manutenção de cultivos e programas de melhoramento, pois facilitará a escolha de indivíduos adequados para cruzamentos intra e interespecíficos, bem como possibilita o planejamento e implementação de cultivos comerciais da espécie, vez que a reprodução consiste em um dos principais eixos para manter a viabilidade econômica da cultura.

Palavras-chave: Receptividade do estigma, Sistemas reprodutivos, *Spondias*, Viabilidade dos grãos de pólen.

**FLORAL AND REPRODUCTIVE BIOLOGY OF *Spondias bahiensis*
P. CARVALHO, VAN DEN BERG AND M. MACHADO (ANACARDIACEAE)
IN THE RECÔNCAVO BAIANO**

ABSTRACT: The study of floral and reproductive biology is essential for understanding the phenomena related to the formation of seeds and fruits and the environment in which the organisms are located. The objective was to study the floral and reproductive biology of *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado under the conditions of the Recôncavo Baiano. The evaluations were carried out on established plants from the Umbu-cajazeira Germplasm Collection installed in the experimental field of the Federal University of Recôncavo da Bahia, in the city of Cruz das Almas – Bahia. Phenology was studied from April 2021 to April 2023. The viability of pollen grains was determined through histochemical tests and in vitro germination. Stigma receptivity was determined with hydrogen peroxide and α -naphthyl acetate solution. The reproductive systems were verified in the field and determined by the autogamy and self-incompatibility indexes. The average time between floral induction and fruit harvest was approximately 180 days. The species flowers between September and December, bears fruit from October to December and the fruit ripens between March and May. *Spondias bahiensis* has hermaphrodite and staminate flowers. The inflorescences are of the panicle type and presented an average of 263 flowers ± 10.56 . Anthesis is diurnal, starting at 4:00 am and lasting until 6:00 am. Histochemical tests resulted in high percentages of pollen grain viability, with an average of 89.71%, regardless of the dye used. In the germination of the pollen grain in vitro there was no statistical difference between the culture media, nor between the floral morphs. Among the stages, anthesis showed higher percentages of germination. Stigmatic receptivity occurs together with anthesis and remains for more than 24 hours after floral opening. The species showed self-incompatibility and preferential allogamy. From a conservation point of view, this species has a self-sterile tendency and depends on pollinators to maintain its fitness through cross-pollination. The information obtained in this study helps to understand the reproductive processes that occur in *S. bahiensis*, and may be useful in the implementation and maintenance of crops and breeding programs, as it will facilitate the choice of suitable individuals for intra- and interspecific crosses, as well as enabling planning and implementation of commercial cultivation of the species, since reproduction is one of the main axes for maintaining the economic viability of the culture.

Keywords: Receptivity of stigma, Reproductive systems, *Spondias*, Pollen grain viability.

1. INTRODUÇÃO

A família Anacardiaceae pertence à ordem Sapindales (APG IV, 2016) e é representada por aproximadamente 800 espécies distribuídas em 81 gêneros (MITCHELL et al., 2022; SILVA-LUZ et al., 2023). Podem ser encontradas em ambientes secos a úmidos, sobretudo em terras baixas nas regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo, podendo até estar presente em regiões temperadas (PELL, et al., 2011; SILVA-LUZ et al., 2023).

Os representantes dessa família são plantas lenhosas, resiníferas, apresentam odores característicos, folhas alternas compostas ou simples, inflorescência cimosa, podendo ou não ocorrer panículas, flores pouco vistosas, geralmente unissexuadas, com frequente presença de pistilódios e estaminódios, actinomorfas, diclamídeas, ovário geralmente súpero, presença de disco nectarífero e fruto em geral do tipo drupa (SOUZA e LORENZI, 2008; JUDD et al., 2009; MITCHELL et al., 2022). Por apresentarem flores nectaríferas, a maioria das espécies dessa família, é polinizada por diversos insetos (JUDD et al., 2009).

No Brasil são representados por 15 gêneros e 64 espécies de Anacardiaceae, dentre essas, 19 são endêmicas, tais como, *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado (umbu-cajá); *Spondias expeditionaria* J.D.Mitch. & Daly (cajá-mirim); *Spondias macrocarpa* Engl. (cajá-redondo); *Spondias tuberosa* Arruda (umbu) e *Spondias venulosa* (Mart. ex Engl.) Engl. (cajá-de-pescoço). Sua distribuição geográfica tem ocorrência confirmada em todas as regiões do Brasil (SILVA-LUZ et al., 2023).

No semiárido brasileiro, a família surge como um grupo importantíssimo no desenvolvimento socioeconômico principalmente pelas espécies frutíferas como o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), o umbuzeiro (*S. tuberosa*), a mangueira (*Mangifera indica* L.) (FENNER et al., 2006; SOUZA e LORENZI, 2008; PELL et al., 2011).

O gênero *Spondias* L. ocorre principalmente nos trópicos (MILLER e SCHAAL, 2005; BACHELIER e ENDRESS, 2009). Apresenta 19 a 20 espécies, das quais 11 são encontradas no Brasil (MACHADO et al., 2015; MITCHELL e DALY 2015; SILVA-LUZ et al., 2023).

A maioria das espécies do gênero *Spondias* apresenta características determinantes para sua identificação, como folíolos com veias intramarginais e frutos com endocarpos fibrosos e comestíveis (MILLER e SCHAAL, 2005; MACHADO et al., 2015; MITCHELL e DALY 2015; MITCHELL et al., 2022). No Brasil, principalmente no Nordeste, as espécies que se destacam pela produção de frutos são, a cajazeira (*S. mombin* L.), a serigueleira (*S. purpurea* L.), o umbuzeiro (*S. tuberosa*) e a umbu-cajazeira (*S. bahiensis*).

Por muito tempo, *S. bahiensis* foi caracterizada como híbrido entre o umbu e a cajá, devido às suas ocorrências, geralmente ao lado do umbuzeiro e a características próximas, como o formato da planta e o tamanho dos frutos (CARVALHO et al., 2008).

No entanto, em estudos com populações do estado da Bahia, utilizando dados morfológicos e moleculares, evidenciou-se que a umbu-cajazeira, que ocorre nessa região, tratar-se de uma nova espécie com possível parentesco entre *S. venulosa* e *S. tuberosa*. Sendo, portanto, descrita como *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado (MACHADO et al., 2015).

O fruto umbu-cajá tem despertado o interesse comercial das indústrias principalmente na produção de geleias e doces. Já a polpa da fruta pode ser usada de diferentes formas (MACHADO et al., 2015; ARAÚJO et al., 2018; SOUZA et al., 2020). Apesar dos avanços nas pesquisas sobre *S. bahiensis*, a espécie não tem cultivares estabelecidas e recomendadas para cultivo comercial (ARAÚJO et al., 2018).

O estudo da biologia floral é imprescindível para entendimento do mecanismo evolutivo e dos fenômenos relacionados à formação das sementes e frutos e do ambiente em que os organismos estão inseridos (DAFNI et al., 2005; WILLMER, 2011).

Conhecimentos relativos, ao horário de antese, viabilidade polínica, receptividade estigmática e do sistema reprodutivo das espécies, são importantes para o desenvolvimento de estratégias para a conservação in situ e pesquisas de melhoramento genético, principalmente para a utilização de métodos de polinização artificial para hibridação de espécies (PYKE, 2016; BRITTO et al., 2018).

A estimativa da viabilidade polínica, por exemplo, demonstra o potencial reprodutivo, uma vez que os grãos de pólen influenciam diretamente no sucesso da fertilização da espécie vegetal (HISTER e TEDESCO, 2016).

A fenologia baseando-se nas fases do ciclo biológico dos vegetais permite compreender como os organismos reagem às condições do meio ambiente e a explicar o sucesso reprodutivo (FENNER, 1998, CERQUEIRA et al., 2016).

A produção de umbu-cajá desempenha um papel importante no Nordeste do Brasil, especialmente nas áreas semiáridas, onde agricultores familiares dependem dessa fruta para subsistência e segurança alimentar (CARVALHO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2018). Estudar e compreender a biologia floral e reprodutiva da umbu-cajazeira, é crucial para otimizar o manejo e maximizar os benefícios dessas frutas para os agricultores e comunidades locais. Como por exemplo, as épocas de frutificação do umbuzeiro e da Umbu-cajazeira ocorrendo de forma não simultânea, beneficia os agricultores ao garantir uma oferta constante de alimentos ao longo do ano e oportunidades de comercialização.

Devido à importância econômica da espécie, principalmente para os agricultores familiares, o fato da espécie não ter cultivares estabelecidas e as informações referentes à espécie *Spondias bahiensis* ainda serem escassa na literatura, neste sentido, objetivou-se estudar a biologia floral e o sistema reprodutivo da *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M Machado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em plantas estabelecidas na Coleção de Germoplasma de umbu-cajazeira instalada no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, na cidade de Cruz das Almas – Bahia. A coleção foi instalada em junho de 2011 e consta de 80 indivíduos, de cinco genótipos diferentes, propagados por enxertia.

O município encontra-se entre as coordenadas geográficas 12°40'0" S e 39°06'0" W. A altitude é de 200 m acima do nível do mar, clima Aw a Am, tropical quente e úmido, segundo a classificação de Kopper (ZUFFO e AGUILERA, 2020). A pluviosidade média anual é de 1224 mm, com incidências de chuvas entre o

período de março e junho. A umidade relativa do ar é de aproximadamente 80% e a temperatura média anual de 24,5°C (INMET, 2012).

O solo da área experimental é Latossolo Amarelo coeso, apresenta textura franco argilo-arenoso, profundo, com presença de horizontes subsuperficiais coesos e um relevo plano (REZENDE, 2000).

2.1 Fenologia da Floração e Características Florais

A fenologia de floração e frutificação foi realizada nos períodos de brotação, produção de botões florais, florescimento, produção de frutos até a maturação dos mesmos. As avaliações foram realizadas em 80 indivíduos, durante 25 meses compreendidos entre abril de 2021 a abril de 2023.

Para o estudo da fenologia de floração avaliou-se a quantidade de flores produzidas por indivíduo (número de flores por panícula), número de flores abertas por panícula, a razão flor hermafrodita e flor estaminada (masculina), o horário da antese, o período de disponibilidade da flor (período compreendido entre a antese até a abscisão ou queda da flor) e o pico de floração (momento em que mais de 70% dos indivíduos estavam floridos).

Para a determinação da antese e disponibilidade da flor, foram escolhidas de forma aleatória 10 plantas e 04 flores por planta, totalizando 40 flores. As flores em pré-antese (botão fechado) foram marcadas e acompanhadas de hora em hora até o momento da antese, e de dia a dia até abscisão (queda) (DAFNI, 1992; NADIA et al., 2007). Consideram-se totalmente abertas as flores em que os órgãos florais já se encontravam expostos.

Quanto ao período de frutificação, considerou-se o momento em que as plantas apresentavam desde frutos em estágio inicial, aproximadamente 1mm de comprimento, até a maturação. Foram avaliados 10 indivíduos acompanhando semanalmente até a mudança de coloração do fruto de verde escuro a amarelo claro.

Para entender a distribuição das flores masculinas e hermafroditas em toda a panícula, considerou-se a parte basal, mediana e o ápice da inflorescência. A base formada pelas primeiras ramificações, o ápice pelas três últimas

ramificações e a mediana com as outras ramificações entre a base e o ápice (NADIA, et al., 2007).

Para a descrição da morfologia e estruturas anatômicas da flor, foram escolhidas aleatoriamente quatro flores por planta (10 plantas) totalizando 40 flores, seguindo a metodologia de Vidal e Vidal (2006).

2.2 Teste Histoquímico

Para a viabilidade polínica pelo método histoquímico, foram utilizados três reagentes, a solução de Alexander 2 % (ALEXANDER, 1980), Carmim Acético 2% (KEARNS; INOUE, 1993) e Lugol 2% (DAFNI, 1992). Para a amostragem, foram colhidas flores em estágio de pré-antese, antese e pós-antese, nos dois morfos florais (estaminadas e hermafroditas). Foi utilizada uma flor por lâmina, sendo cinco repetições por estágio (pré-antese, antese, pós-antese) totalizando 15 lâminas por reagente.

As anteras das flores foram friccionadas sobre a lâmina e o pólen ficou distribuído na mesma. Os reagentes foram adicionados às lâminas específicas. Foram contabilizados 50 grãos de pólen por lâmina (cinco repetições), totalizando 250 grãos de pólen para cada tratamento, considerando viáveis os grãos de pólen em que a exina estava intacta e o protoplasma corado conforme especificação de cada corante. Foram considerados inviáveis os grãos de pólen que apresentavam tamanho anormal, que coraram pouco ou que exibiam protoplasma reduzido ou ausente.

Para comparação das médias, os dados foram submetidos à análise de variância e utilizou-se o teste Tukey a 5 % de probabilidade por meio do programa SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2014).

2.3 Germinação *in vitro*

Para os estudos da viabilidade dos grãos de pólen, foram utilizadas quatro flores de cada morfo floral em diferentes estádios de desenvolvimento: pré-antese, antese e pós-antese. Foram avaliadas flores estaminadas e flores hermafroditas. Os grãos de pólen foram espalhados com pincel e distribuídos

uniformemente em placas de Petri contendo 25 mL dos meios de cultura BM (PARTON et al., 2002) e meio de cultura SM (SOARES et al., 2008) e mantidos em câmara escura à temperatura de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas. Foram feitas três repetições para cada estágio e morfo floral.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial ($2 \times 3 \times 2$) sendo dois meios de cultura (BM e SM), três estágios (pré-antese, antese e pós-antese), e dois morfos florais (hermafroditas e estaminadas). Foram feitas três repetições para cada estágio e morfo floral. Cada placa de Petri representava uma repetição, cada uma subdividida em quatro quadrantes.

A contagem dos grãos de pólen germinados e a medida do comprimento do tubo polínico foram realizadas 24 horas após a inoculação em meio de cultura. Para a porcentagem de germinação foram contabilizados todos os grãos de pólen de cada quadrante. Para o comprimento do tubo polínico foram mensurados aleatoriamente cinco tubos em cada quadrante, totalizando 60 tubos polínicos de cada tratamento. Considerou-se germinados os grãos de pólen que possuíam tubo polínico com tamanho igual ou superior ao diâmetro do próprio grão de pólen. As microfotografias foram obtidas com auxílio de estereomicroscópio Leica EZ4 D (Leica, Wetzlar, Alemanha).

Os dados de porcentagem de germinação foram transformados para arc sen ($\sqrt{x}/100$) antes da análise estatística. Para a comparação das médias, os dados foram submetidos à análise de variância e utilizou-se o teste Tukey ($p < 0,05$), por meio do programa SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2014).

2.4 Receptividade do estigma

Para a receptividade do estigma quatro flores de três plantas distintas, totalizando 12 flores, foram avaliadas nas fases de pré-antese, antese e pós-antese (24 horas após antese). A receptividade do estigma foi avaliada utilizando-se o peróxido de hidrogênio 3% (ZEISLER, 1933) e solução de α -naftil-acetato com tampão fosfato, acetona e fast blue B salt (PEARSE, 1972; DAFNI, 1992). A receptividade do estigma nas diferentes metodologias foi avaliada conferindo

graus, conforme adaptação de (DAFNI e MAUÉS, 1998): (-) sem reação; (+) resposta positiva fraca; (++) resposta positiva forte; (+++) resposta muito forte.

Durante a avaliação da receptividade estigmática, para evitar resultados falso-positivos, seguindo a metodologia de Dafni e Maués (1998), foram utilizados todos os cuidados para manter a integridade do material, principalmente evitando contato com a parte superior do estilete e papilas estigmáticas.

2.5 Razão pólen/óvulo

Para a quantificação dos grãos de pólen, foram coletados 30 botões florais em pré-antese de flores hermafroditas e 30 botões de flores estaminadas e acondicionados em placas de Petri. Para cada repetição, foram utilizadas 10 anteras de 10 flores, totalizando 100 anteras por repetição, sendo três repetições para cada morfo floral. As anteras foram retiradas com o auxílio de uma pinça e maceradas em cadinho de porcelana acrescentando-se 1ml de ácido láctico. Após a maceração, as anteras foram colocadas em um tubo de *ependorf* e posteriormente agitadas em *vortex*, para que os grãos de pólen ficassem em suspensão. Com o auxílio de uma micropipeta o volume foi retirado do *ependorf* e colocado na canaleta da câmara de *Neubauer*, já coberta com a lamínula específica, para a contagem de pólen por campos, conforme metodologia de Cruden (1977).

Para a avaliação do número de óvulos, foram feitos cortes transversais na base da flor (ovário) em antese (n=20), com o auxílio de uma pinça de ponta fina, de uma lâmina de bisturi e seringas de ponta fina. Os ovários foram observados e contados os óvulos com o auxílio de estereomicroscópio Leica EZ4 D (Leica, Wetzlar, Alemanha).

2.6 Acetólise polínica

As flores em antese foram coletadas e as anteras friccionadas sobre uma lâmina para a retirada dos grãos de pólen. Foi utilizada uma flor por lâmina com cinco repetições. Posteriormente foi adicionada uma gota da mistura ACLAC, utilizando o método da Acetólise Láctica (Raynal e Raynal, 1979). Os grãos de

pólen foram fotomicrografados em vista equatorial e polar, utilizando-se um microscópico Olympus CX41 com uma câmera digital acoplada Olympus E330. Todas as fotomicrografias foram retiradas com a objetiva de 1000x. Para as características morfológicas e o cálculo da média aritmética foram medidos 25 grãos de pólen em vista equatorial e em vista polar. As descrições morfológicas dos grãos de pólen foram baseadas em Hesse et al. (2009).

2.7 Mecanismos de polinização avaliados

Para a avaliação do sistema reprodutivo foram marcados 10 indivíduos e utilizou-se a metodologia proposta por Kearns e Inouye (1993).

Polinização natural: As panículas foram escolhidas ao acaso, identificadas e os botões florais foram contados.

Autopolinização natural: As panículas foram escolhidas ao acaso, com os botões ainda em pré-antese e foram isoladas com sacos de “voil” e permaneceram assim até a frutificação ou senescência da flor.

Agamospermia: Panículas com botões ainda em pré-antese foram selecionadas e os botões foram emasculados (anteras removidas) e ensacados com “voil”, permanecendo assim até a frutificação ou senescência da flor.

Autopolinização manual: As panículas foram ensacadas com “voil” ainda em pré-antese e na antese as flores foram polinizadas com grãos de pólen da mesma flor e foram ensacadas.

Polinização Cruzada natural: As panículas foram ensacadas ainda em pré-antese e na antese as flores foram emasculadas e deixadas sem saco de voil.

Polinização cruzada manual: As panículas foram ensacadas com “voil” na pré-antese e na antese foram emasculadas e polinizadas com grãos de pólen de outros indivíduos. Foram realizadas polinizações com pólen de flores masculinas e de flores hermafroditas e novamente as flores foram ensacadas.

Foram selecionadas 10 plantas, e em cada uma teve a avaliação dos oito tratamentos. Foram utilizadas 300 flores para os tratamentos: agamospermia, autopolinização manual, polinização cruzada manual (pólen de flores hermafroditas e de flores estaminadas) e polinização cruzada natural. Já para os tratamentos: polinização natural, autopolinização espontânea foram marcadas 25

inflorescência/panículas e as flores de cada panícula foram contabilizadas, totalizando 6574 flores para polinização natural e 6622 flores para a autopolinização espontânea.

A frutificação foi acompanhada semanalmente até a maturação dos frutos e coletados antes da abscisão. Foi avaliada a porcentagem de frutificação e se houve a formação de sementes. Foram calculados os índices de Autopolinização Espontânea ($ISA = \text{percentual de frutos formados por autopolinização espontânea, dividido pela porcentagem de frutos formados por autopolinização manual}$), índice de Autoincompatibilidade ($ISI = \text{percentual de frutos resultantes de autopolinização manual, dividido pelo percentual de frutos oriundos de polinização cruzada Manual}$) e a Eficácia Reprodutiva ($ER = \text{percentual de frutos provenientes de polinização natural, dividido pela porcentagem de frutos formados por polinização cruzada}$). Foram adotados valores $> 0,2$ como indicativos de autocompatibilidade de acordo com a metodologia de Zapata e Arroyo (1978).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

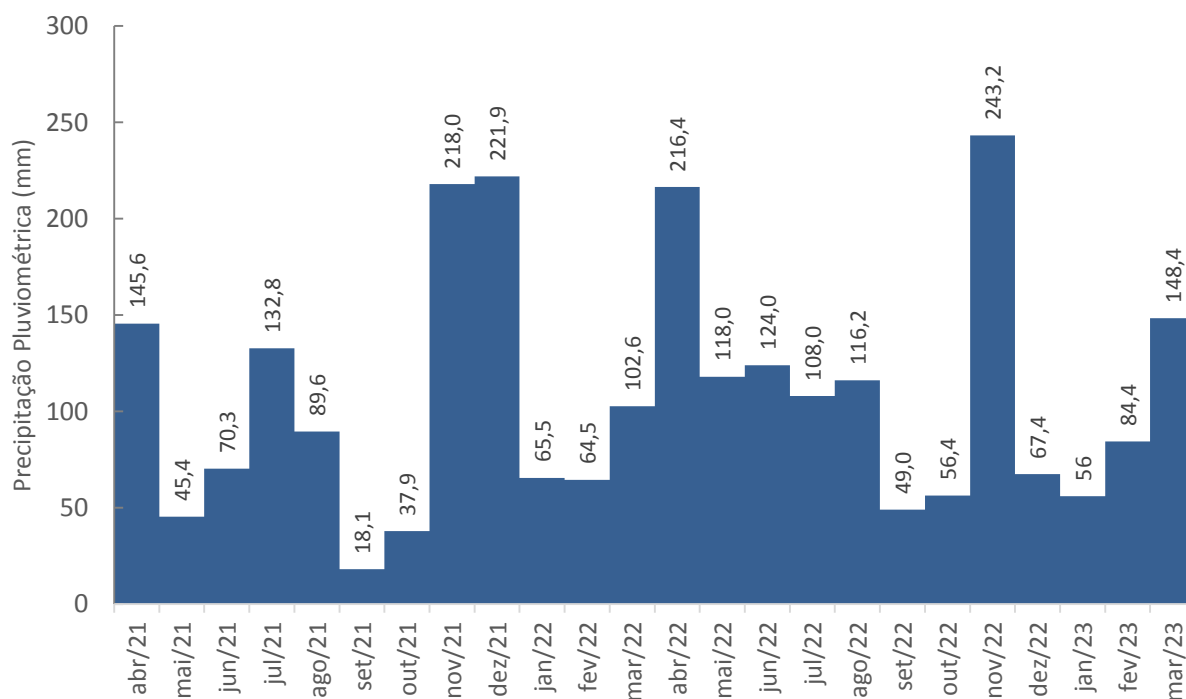
3.1 Fenologia da Floração

Durante o período de estudo, no ano 2021, a fenofase de brotamento foliar de umbu-cajazeira iniciou em setembro de 2021 e perdurou até janeiro de 2022. A floração ocorreu concomitantemente ao brotamento foliar. Na maioria dos indivíduos, o pico de florescimento ocorreu nos meses de novembro e dezembro de 2021. Já no ano de 2022 a fenofase de brotamento foliar iniciou em setembro e perdurou até fevereiro e a floração ocorreu um pouco mais tarde, iniciando no final do mês de outubro e com pico de floração em dezembro de 2022, onde cerca de 70% das plantas estavam floridas. Possivelmente este comportamento deve-se ao maior índice pluviométrico que ocorreu na região do recôncavo no ano em questão. Os dados pluviométricos do período do experimento encontram-se na **Figura 1**.

Os primeiros frutos, na maioria dos indivíduos, surgiram entre os meses de outubro a dezembro e o amadurecimento entre os meses de março a maio. A formação inicial dos botões florais de umbu-cajazeira iniciou no mês de setembro no ano de 2021 e em outubro no ano de 2022. O surgimento dos botões florais

ocorre cerca de sete dias após o início da formação da panícula e apresenta dimensões de 0,5- 2,0 mm.

Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) do município de Cruz das Almas-BA durante o período experimental com *Spondias bahiensis*.



Fonte: Estação pluviométrica da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e dados do INMET.

A antese foi verificada entre 9 a 12 dias após o início do botão floral, quando este apresentava entre 2,0 – 3,0 mm. Após 24 horas da antese observou-se o escurecimento dos estames, enquanto que os estigmas escureceram 48 horas após a antese (**Tabela 1**), até a abscisão da flor. A abertura floral ocorreu entre 4h e 6h, portanto a antese é diurna. O início da formação do fruto, 1- 1,5 mm de comprimento, foi verificado entre 2 a 3 dias após a antese e alcançou o estágio de maturação 180 dias após a antese (**Tabela 1**).

Portanto, nas condições do Recôncavo Baiano o tempo médio entre a o início do botão floral até a colheita de frutos é de aproximadamente 180 dias. Floresce entre setembro a dezembro e frutifica de outubro a dezembro e o amadurecimento dos frutos entre os meses de março a maio.

Tabela 1. Fenofases reprodutivas de umbu-cajazeira (*Spondias bahiensis*) no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas Bahia, Brasil (2021-2023).

| FASES | FLORAÇÃO | PERÍODO (dias)* | TAMANHO (Comprimento) |
|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | Botão floral | 07-09 | 0,5- 2,0 mm |
| 2 | Antese | 09-12 | 2,0 – 3,0 mm |
| 3 | Estames escurecidos | 13 | 1,2- 2,0 mm |
| 4 | Estigma escurecido | 14 | 1,0-1,2 mm |
| FRUTIFICAÇÃO | | | |
| 5 | Formação do fruto | 14- 29 | 1- 1,5 mm |
| 6 | Fruto verde | 29-180 | 3,0 mm - 4,0 cm |
| 7 | Fruto maduro | 180 | 2,0 - 4,0 cm |

*Período em dias. Início do surgimento dos botões florais em panículas (Fase 1). Antese ou abertura da flor (Fase 2). Após a antese ocorre o escurecimento dos estames (Fase 3) e dos estigmas (Fase 4). Início da formação dos frutos (Fase 5). Os frutos se desenvolvem, mas ainda não estão maduros (Fase 6). Mudança na coloração do fruto (verde para amarelado) inicia-se a maturação (Fase 7).

Os dados obtidos de umbu-cajazeira no Recôncavo da Bahia diferem pouco dos encontrados como, por exemplo, por Souza et al. (2020), que descreveram que a umbu-cajazeira em regiões semiáridas apresenta tempo médio entre a indução floral até a colheita de frutos de aproximadamente 150 dias. Os autores ainda citaram que a umbu-cajazeira, geralmente, floresce entre novembro a dezembro e o amadurecimento dos frutos de março a maio.

De acordo com Machado et al., (2015) a floração de *S. bahiensis*, nas regiões semiáridas, ocorre entre os meses de novembro e dezembro, e o amadurecimento dos frutos entre fevereiro e março, no início da estação chuvosa do verão, quando a planta já está plenamente folheada. Segundo os autores, a colheita de *S. bahiensis* pode se estender até o mês de maio ou junho, dependendo da área de ocorrência.

Em estudo sobre a fenologia reprodutiva em espécies do gênero *Spondias*, Kiill et al. (2013) observaram que há uma sazonalidade nas fenofases, floração e frutificação, e que as espécies de *Spondias* são consideradas plantas decíduas, com padrão de floração anual e do tipo cornucópia, com frutificação concentrada na estação chuvosa.

Cavalcanti et al. (2000), ao analisar o período de frutificação do umbuzeiro (*S. tuberosa*) no estado de Pernambuco, região semiárida, verificaram que o tempo médio para da frutificação até o amadurecimento foi de 125 dias, variando de 117 a 143 dias. Os autores inferiram que a temperatura e precipitação influenciam nos aspectos fenológicos do umbuzeiro, e que o número de dias de duração de cada fenofase depende das condições climáticas, principalmente da precipitação e da temperatura do ar.

A *Spondias bahiensis* é tida como uma espécie de clima tropical e apresenta boa resistência às condições de clima semiárido do Nordeste, e pode estar presente em regiões com diversos regimes pluviométricos como o bioma da Mata Atlântica. Sendo assim a espécie pode responder às características climáticas de onde se estabelece, podendo apresentar mudanças em suas fenofases de acordo com o ambiente (ARAÚJO et al., 2018; FONSECA et al., 2017; NOLETO, 2019).

A fase reprodutiva da umbu-cajazeira pode ser afetada por fatores climáticos e edáficos e até pelo manejo cultural (MACHADO et al., 2015; SOUZA et al., 2020) corroborando os resultados obtidos da umbu-cajazeira nas condições do recôncavo baiano, principalmente referente ao regime pluviométricos, que influenciou a fenologia da floração e frutificação entre os anos de 2021 e 2022.

3.2 Biologia Floral

Em *S. bahiensis* constatou-se que em um mesmo indivíduo existem flores bissexuais ou hermafroditas e estaminadas ou masculinas (**Figura 2B-C**) o que caracteriza um sistema sexual do tipo andromonóico, conforme descrevem Tavares et al., (2020) em *S. macrocarpa*. O sistema andromonóico também foi relatado por Nadia et al. (2007) em *S. tuberosa*, por Carneiro e Martins (2012) em *Spondias mombin*.

Figura 2. A-C) Flores de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado. A) Botão floral. B) detalhes da flor estaminada (masculina). C) detalhes da flor hermafrodita. D) Botão em antese. E-F) Estames deiscientes na antese e pós antese respectivamente. G) Inflorescência tipo panícula. H) formação da inflorescência e botões florais. I) fruto em desenvolvimento. J) Estame e antera de *S. bahiensis*. L) detalhe do estigma, seta indica grãos de pólen aderidos. M) Ovário pentacarpelar, seta indica o óvulo desenvolvido. Barras: 1mm.



Fonte: Acervo Insecta 2021-2022.

A flores de *S. bahiensis* (**Figura 2A-C**) são pediceladas, pentâmeras, apresentam cálice verde inconspícuo, pétalas brancas (5), com 3-4 mm, androceu

com dez estames, cinco deles mais longos (2 mm comp.) e alternos às pétalas e cinco mais curtos (1,2 mm comp.) e opostos às pétalas. Os filetes são brancos e as anteras amarelas (**Figura 2J**). A deiscência das anteras é rimosa (longitudinal) e ocorre concomitantemente com a abertura da flor (**Figura 2D-F**).

A antese das flores iniciou por volta das 4h em ambos os tipos florais, estando as flores completamente abertas em torno das 6:00h. Após a abertura, as flores expõem o estigma que está receptivo (**Figura 2L**) e as anteras deiscentes e possivelmente disponibilizam algum tipo de recompensa aos polinizadores, dado a presença de insetos registrada neste momento.

Em estudos com *S. mombin* realizados por Souza e Franca (1999), foi verificado que o início da antese da espécie começava por volta de 1h30, com pico às 4h30 e término às 6h30, e a maioria das flores em antese localizava-se na parte basal da panícula.

Já no umbuzeiro (*S. tuberosa*) as flores começam a abrir por volta das 5h da manhã e estão totalmente abertas às 6h, as flores masculinas duram aproximadamente 24 horas e as hermafroditas de 48 a 72 horas (NADIA et al., 2007).

As inflorescências de *S. bahiensis* são panícula que apresentaram, em média, 263 flores $\pm 10,56$ (n=45), sendo que na maioria das panículas, cerca de 60% das flores são hermafroditas e 40% masculinas. A média de flores hermafroditas verificada na inflorescência foi de $78,8 \pm 36,09$ (N=20), e a média de frutos em um cacho foi de $1,7 \pm 0,87$ (N= 30) (**Figura 2I**).

O número de flores abertas por dia em cada inflorescência é em média, de 5 a 10 flores por panícula, podendo apresentar de uma até 20 flores abertas. As panículas duram entre 11 e 15 dias, sendo que as flores masculinas duram de 2 a 3 dias e as flores hermafroditas de 4 a 5 dias.

Na maioria das panículas, as flores masculinas foram as primeiras a abrirem, enquanto as flores hermafroditas iniciam a antese somente após 50% das flores masculinas já estarem abertas.

A distribuição das flores estaminadas e hermafroditas nas panículas ocorrem de maneira diferente. No caso das flores estaminadas cerca de 70% são encontradas na base da panícula, principalmente nas primeiras três ramificações da base, e em algumas ramificações entre a base e o ápice da panícula. Já as flores hermafroditas concentram-se entre o meio e o ápice e praticamente são

dominantes no ápice da panícula. Essa variação na distribuição dos tipos florais nas panículas também foi observada por Nadia et al. (2007) em *S. tuberosa* e Tavares et al. (2020) em *S. macrocarpa*.

As panículas medem de 3 a 25 cm com média de 16,04 cm \pm 5,54 (n=40) (**Figura 2G-H**) e apresentam em média 78,8 \pm 36,09 (n=20) flores hermafroditas e 66,55 \pm 44,61 (n=20) flores masculinas.

As flores hermafroditas medem 7,41 mm \pm 0,27 (n=10) de diâmetro e são maiores que as estaminadas, possuem gineceu pentacarpelar, ovário súpero apresentando um óvulo em cada lóculo, pistilo com 1,37 mm \pm 0,26 (n=15) e cinco estiletos livres entre si. As flores estaminadas medem 5,42 mm \pm 0,30 (n=10) de diâmetro e apresentam pistilo não funcional (pistilódio). Tanto as flores estaminadas quanto às hermafroditas apresentam disco nectarífero intraestaminal (2-2,5 mm) e presença de osmóforos.

Na espécie *S. bahiensis* foi identificado um óvulo por carpelo, totalizando cinco óvulos, porém, geralmente apenas um apresenta desenvolvimento completo (**Figura 2M**).

Em estudo com a espécie *S. macrocarpa*, Tavares et al. (2020) descreveram que o ovário da espécie apresenta um óvulo por carpelo, e todos os cinco lóculos produzem um óvulo fértil. Porém, os autores Bachelier e Endress (2009) afirmaram que as espécies *S. dulcis*, *S. purpurea* e *S. tuberosa*, apresentam um gineceu com cinco carpelos, cinco lóculos e apenas um óvulo fértil.

3.3 Viabilidade polínica

No estudo da viabilidade polínica por meio do método histoquímico, das flores estaminadas e hermafroditas nos estádios de pré – antese, antese e pós-antese, verificou-se que os três corantes utilizados, reativo de Alexander 2%, Carmim Acético 2% e Lugol 2%, foram eficientes na distinção entre pólenes viáveis e inviáveis na espécie *S. bahiensis* (**Tabela 2, Figura 3E-G**).

Na reação com o Alexander a 2% de ácido láctico, pólenes viáveis e íntegros coram de azul-arroxeadado e os inviáveis, azul-esverdeado (**Figura 2A**). A solução de Alexander (1980) contém fucsina ácida e verde Malaquita que reagem com o

protoplasma e a celulose do grão de pólen, por isso, é possível diferenciar os grãos de pólen viáveis dos inviáveis. Os grãos de pólen inviáveis não possuem núcleo, e a coloração se apresenta apenas na celulose contida na parede. (ALEXANDER, 1980, BRAGA et al., 2018).

Tabela 2. Percentuais médios da viabilidade de grãos de pólen de *S. bahiensis* utilizando os corantes: Reativo de Alexander, Carmim acético e Lugol, dois morfos florais, em diferentes estádios.

| Reagente | Hermafrodita | | | Estaminada | | |
|-----------|--------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|
| | Pré-Antese | Antese | Pós-Antese | Pré-Antese | Antese | Pós-Antese |
| Alexander | 93,60 bC | 100,00 aA | 97,60 aB | 97,20 aAB | 98,00 aA | 95,60 aB |
| Carmim | 76,80 cC | 94,40 bA | 89,20 bB | 81,60 bB | 90,80 bA | 87,60 bA |
| Lugol | 92,20 aB | 94,40 bAB | 91,20 bC | 95,00 aA | 97,60 aAB | 96,00 aB |
| CV(%) | | | | | | 3,58 |

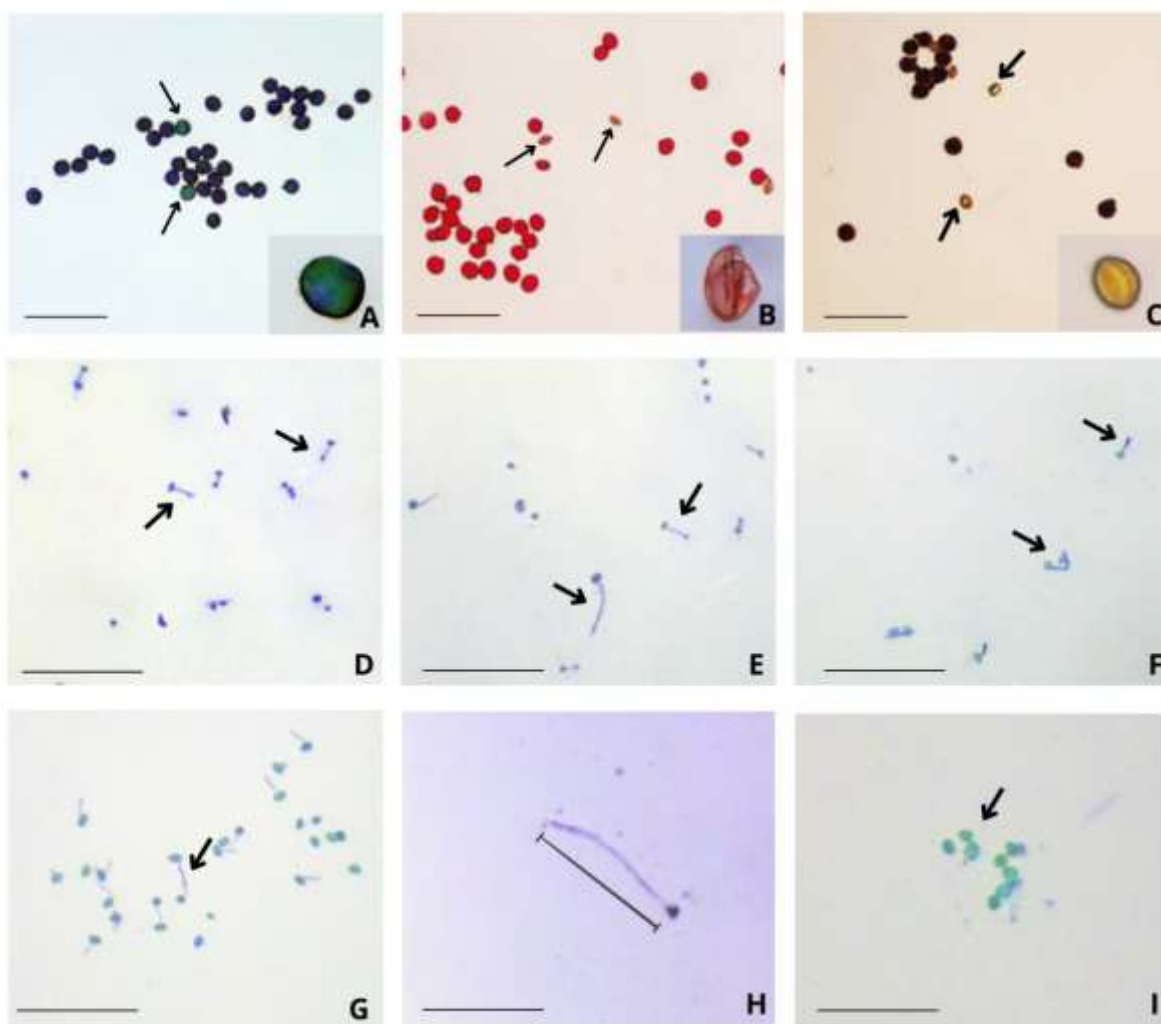
*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, para cada estágio, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao carmim acético, observou-se que os pólenes viáveis apresentam coloração avermelhada (**Figura 3B**). Na reação com o carmim acético os pólenes não corados e/ou mal formados são considerados inviáveis. A coloração avermelhada ocorre devido à reação com o material genético presente no citoplasma do grão de pólen (PAGLIARINI e POZZOBON, 2004).

Com a utilização do Lugol os pólenes viáveis apresentaram coloração marrom (**Figura 3C**), possivelmente devido ao Lugol reagir quimicamente com o amido presente nos grãos de pólen. Segundo PAGLIARINI e POZZOBON (2004) os grãos de pólen inviáveis apresentam coloração amarelo-claro.

Na avaliação pelo teste histoquímico não foi observado diferença estatística quanto à viabilidade de pólen nos tipos florais, indicando que ambos contribuem com pólen viável para a reprodução da espécie.

Figura 3. Viabilidade dos grãos de pólen de *S. bahiensis* nas condições do recôncavo baiano. A-C) Teste histoquímico evidenciando grãos de pólen viáveis e inviáveis. A – Solução de Alexander a 2 %. B - Carmim acético a 2 %. C- Lugol a 2 %. Setas e destaques indicam grãos de pólen inviáveis. D- Germinação *in vitro* dos grãos de pólen de *S. bahiensis*. D-G) Germinação de pólen *in vitro* em meios de cultura BM (PARTON et al., 2002) e SM (SOARES et al., 2008). D- Pólen de flor hermafrodita em antese, em meio SM. E- Flor hermafrodita em antese, em meio BM. F- Pólen de flor estaminada em antese, em meio SM. G - pólen de flor estaminada em antese, em meio de cultura BM. H – grão de pólen germinado com tubo polínico desenvolvido, tamanho do tubo polínico 0,8 mm. I – grãos de pólen não germinados. Barras: (A-C) 0,5 mm; D-G) 10 μ m.



Fonte: Acervo Insecta 2021-2022

As flores hermafroditas e masculinas apresentaram viabilidade em todos os estádios, pré-antese, antese e pós-antese (24 horas depois), contudo na fase de antese foi a que apresentou maior porcentagem de grãos de pólen viáveis, independentemente do tipo de corante (**Tabela 2**).

De acordo com SOUZA et al. (2002) e HISTER e TEDESCO (2016) é considerada alta a viabilidade polínica quando os valores são acima de 70%. Resultados semelhantes foram relatados por Nadia et al. (2007) em *S. tuberosa*.

Com relação à germinação do grão de pólen *in vitro* não houve diferença entre os meios de cultura, nem entre os morfos florais. (**Figura 3D-G**, **Tabela 3**). Entre os estádios houve a maior porcentagem de germinação naantesse em todos os morfo florais, sugerindo que este é o estado em que os grãos de pólen estão viáveis para a polinização.

Em relação aos valores médios de crescimento do tubo polínico (**Figura 3H-I**), houve diferença estatística entre os morfos florais (**Tabela 3**). As flores estaminadas (masculinas) apresentaram médias de crescimento mais significativas quando comparadas às flores hermafroditas.

O método de germinação *in vitro* simula as condições do estilo-estigma induzindo a germinação do tubo polínico (TAYLOR e HEPLER, 1997; SOARES et al., 2008).

A análise colorimétrica estima a viabilidade do pólen, com base na coloração, mas a fertilidade do pólen deve ser determinada por testes de germinação e crescimento do tubo polínico. A coloração constata a presença de conteúdo celular, e a germinação *in vitro* permite identificar se o pólen é metabolicamente ativo e capaz de formar o tubo polínico (SOUZA et al., 2013; HISTER e TEDESCO, 2016), assim a germinação *in vitro* é o método mais utilizado para determinar a fertilidade dos grãos de pólen.

Tavares et al. (2020) avaliaram a germinação *in vitro* em *S. macrocarpa* e verificaram que não houve diferenças significativas entre as flores hermafroditas e estaminadas, o que corrobora os dados encontrados em *S. bahiensis*.

A análise deste parâmetro consiste em uma ferramenta muito importante, visto que, em plantas que se reproduzem sexuadamente, o grão de pólen é responsável pelo transporte do gameta masculino até o estigma na flor feminina ou hermafrodita, dependendo do sistema reprodutivo da cultura, desempenhando uma função estratégica no rendimento da cultura que dependente de grãos de pólen viáveis.

Tabela 3. Valores médios de germinação (%) e de crescimento do tubo polínico (mm) em dois morfos florais em função de estados de anteses em *S. bahiensis*

| Estádio | Germinação <i>in vitro</i> (%) | | | |
|---------------|--------------------------------|------------|--------------|------------|
| | Meio BM | | Meio SM | |
| | Hermafrodita | Estaminada | Hermafrodita | Estaminada |
| Pré- Antese | 68,25aAB | 70,32aAB | 69,62aAB | 62,88aAB |
| Antese | 83,35aA | 84,52aA | 85,12aA | 84,29aA |
| Pós- Antese | 59,75aAB | 53,05aAC | 55,47aAC | 55,27aAB |
| CV (%) | | | | 11,19 |

| Estádio | Comprimento tubo polínico (mm) | | |
|---------------|--------------------------------|--------------|-----|
| | Tipo | | |
| | Estaminada | Hermafrodita | |
| Pré- antese | 0,058 aA | 0,040 bB | |
| Antese | 0,054 aC | 0,046 bA | |
| Pós-antese | 0,057 aB | 0,038 bC | |
| CV (%) | | | 4,2 |

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, para cada estágio, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A viabilidade polínica, assim como a receptividade do estigma, é importante para o sucesso reprodutivo de uma espécie. Esses fatores podem influenciar no número de sementes, tamanho e número dos frutos, que aumentam de acordo com a quantidade de grãos de pólen viáveis depositada sobre o estigma (STONE et al., 1995; RIGAMOTO e TYAGI, 2002) e é um importante indicador de potenciais parentais em programas de melhoramento genético (RIGAMOTO; TYAGI, 2002; DAFNI, 2000; SANTOS et al., 2015).

3.4 Receptividade do estigma

No teste de receptividade de estigma, utilizando a solução de peróxido de hidrogênio 3%, houve reação com a formação de bolhas de ar na cavidade estigmática indicando a atividade da peroxidase em todas as fases, pré-antese, antese e pós-antese, nas flores de *S. bahiensis* (**Figura 4A-C**).

Figura 4. Teste de receptividade de estigma na flor de *Spondias bahiensis* utilizando solução de peróxido de hidrogênio 3% e Solução de α -naftil-acetato (A-F). A - estigma na pré-antese (Peróxido); B - estigma na antese (Peróxido); C - estigma pós-antese (Peróxido); D - pré-antese (α -naftil-acetato); E - antese (α -naftil-acetato); F - pós-antese (α -naftil-acetato). Setas apontam bolhas de oxigênio resultantes da reação estigma-peróxido de hidrogênio e a reação como α -naftil-acetato. Barras: 1mm.



Fonte: Acervo Insecta 2021-2022

Na reação com o α -naftil-acetato, o estigma apresentou receptividade desde a pré-antese até a pós-antese, sendo corados de marrom escuro (**Figura 4D-F**), seguindo os graus conforme adaptação de Dafni e Maués (1998): (-) sem reação; (+) resposta positiva fraca; (++) resposta positiva forte; (+++) resposta muito forte.

A fase da antese apresentou resposta positiva muito forte, seguida da pós-antese com resposta positiva forte. A pré-antese apresentou resposta positiva, porém, mais fraca se comparada à antese e a pós-antese (**Tabela 4**). Essa resposta na fase de pré-antese demonstra que o estigma da flor se encontra receptivo antes mesmo da abertura da flor, porém o momento que a flor apresenta maior receptividade estigmática é a antese.

Considerando que as flores de *S. bahiensis* após a antese não se fecham e que as flores hermafroditas podem durar até cinco dias, o estigma permanece receptivo durante todo período em que a flor está aberta, e esse fator pode

aumentar a possibilidade de ocorrência da polinização (RATHCKE e LACEY, 1985).

Tabela 4. Receptividade do estigma de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado avaliada na pré-antese, antese e pós-antese utilizando duas metodologias.

| Estado | H ₂ O ₂ | α-naftil acetato |
|-------------------|-------------------------------|------------------|
| Pré-antese | + | + |
| Antese | +++ | +++ |
| Pós-antese | ++ | ++ |

(-) sem reação; (+) resposta positiva fraca; (++) resposta positiva forte; (+++) resposta positiva muito forte. Metodologias adaptadas de Dafni e Maués (1998); peróxido de hidrogênio 3%; α- nafil = solução de α-naftil acetato, tampão fosfato, acetona e fast blue B salt.

A depender da espécie vegetal, o estigma produz uma substância viscosa que permite a aderência do grão de pólen, contribuindo assim para uma efetividade da polinização e uma provável fertilização, com formação de frutos e sementes (MAUÉS e COUTURIER, 2002).

As longas durações do período de antese e da receptividade do estigma estão associadas à alta razão pólen/óvulo e à grande dispersão de pólen (CRUDEN, 2000).

Spondias bahiensis apresentou receptividade estigmática desde a pré antese, porém, a maior receptividade é verificada logo na antese. Essa avaliação da receptividade do estigma é essencial para determinar o melhor período de deposição do pólen na flor. Essa informação auxilia na realização de cruzamentos e hibridações e conseqüentemente na fertilização eficaz, uma vez que qualquer sucesso na polinização está estritamente relacionado ao momento e duração da receptibilidade do estigma (DAFNI, 1992).

3.5 Razão pólen/óvulo

A razão pólen/óvulo é de 2.750:1 (n=30) para as flores hermafroditas e de 1.7916:1 (n=30) para flores masculinas (estaminadas).

Seguindo-se a classificação proposta por Cruden (1977), determinou-se que *S. bahiensis* é uma espécie que apresenta uma razão pólen/óvulo alta, considerando-a uma espécie xenogâmica (xenogâmica obrigatória – Razão P/O: 2018,0-195.525,0), ou seja, dependente da polinização cruzada para obter seu sucesso reprodutivo.

A razão pólen/óvulo pode determinar o sistema reprodutivo e o modo de polinização da espécie vegetal. Plantas xenogâmicas geralmente apresentam maior oferta de grãos de pólen aumentando a chance de um maior número de flores receberem esse pólen, efetivando assim a polinização (BERTIN, 1989; RECH, et al., 2014).

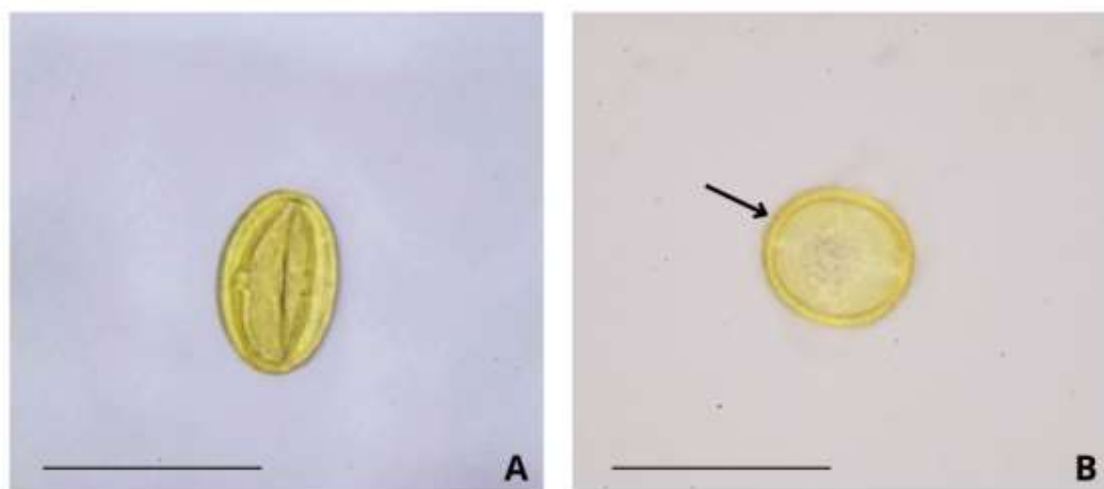
Na análise da razão pólen/óvulo realizada em *S. tuberosa*, Nadia et al. (2007) definiram a espécie como xenogâmica e dependente da polinização cruzada para produzir frutos. Nessa análise os autores observaram que a espécie apresentou flores hermafroditas com maior número de grãos de pólen que as estaminadas. Em *S. bahiensis* também foram observados os mesmos resultados.

3.6 Acetólise polínica

Foram observados e medidos 25 grãos de pólen no eixo polar e eixo equatorial (**Figura 5A-B**), assim como a medição da espessura da exina. De acordo com a medição e os cálculos estatísticos, a **tabela 5** demonstra os valores referentes aos grãos de pólen de *Spondias bahiensis*. A partir da acetólise láctica realizadas observou-se que os grãos de pólen de *S. bahiensis* apresentam tamanho pequeno e formato Oblato-Esférico (**Tabela 5**).

Os grãos de pólen da família Anacardiaceae variam de pequenos a médios e podem apresentar forma de sub oblatoesférico, oblato-esférico ou prolato (ERDTMAN, 1952). O comprimento do eixo polar pode variar de 11,5 a 56 µm, e o comprimento do eixo equatorial de 13,5 a 49 µm (PEREIRA et al., 2014).

Figura 5. Morfologia dos grãos de pólen da espécie *S. bahiensis*. A) Grão de pólen acetolisado na visão Equatorial. B) Grão de pólen acetolisado na visão polar. Barra: 50 μm



Fonte: Acervo Insecta, 2022.

Tabela 5. Características morfológicas de grãos de pólen de *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van den Berg & M. Machado.

| Características | Dimensões (μm) |
|---|-----------------------------|
| Visão polar (P)¹ | |
| Diâmetro Equatorial | 13,10 \pm 1,10 |
| Diâmetro polar | 13,48 \pm 1,70 |
| Visão Equatorial (E)¹ | |
| Equatorial maior | 14,56 \pm 1,47 |
| Equatorial menor | 9,79 \pm 1,19 |
| Espessura da Exina ¹ | 0,69 \pm 0,10 |
| P/E (μm) | 0,92 |
| Tamanho do Grão de Pólen ² | Pequeno |
| Forma do grão de Pólen ³ | Oblato-Esférico |

¹ Grãos de pólen acetolisado de acordo com a metodologia de Raynal e Raynal (1979). Os resultados correspondem à média de 25 repetições \pm desvio padrão. ² Tamanho do grão de pólen: muito pequeno (<10 μm); pequeno (10-25 μm); médio (25-50 μm); grande (50 - 100 μm) (Hesse et al.,2009). ³A forma do grão de pólen e definida pela razão entre Polar/Equatorial: oblato-esférico (0,88-0,99 μm); esférico (1,00 μm); prolato-esférico (1,01-1,13 μm). (Hesse et al.,2009).

Portanto, as características dos grãos de pólen das angiospermas podem fornecer informações importantes para a identificação da espécie vegetal e dos possíveis visitantes florais e/ou polinizadores.

3.7 Sistemas Reprodutivos

Foram avaliadas 300 flores para os tratamentos: agamospermia, autopolinização manual, polinização cruzada manual (pólen de flores hermafroditas e de flores estaminadas) e polinização cruzada natural. Para os tratamentos com polinização aberta foram avaliadas 6574 flores, para a autopolinização espontânea, foram 6622 flores. Cada planta teve os oito tratamentos, sendo ao todo 14696 flores avaliadas.

Na avaliação da eficiência reprodutiva de *Spondias bahiensis* observou-se que nas 25 inflorescências marcadas para a polinização aberta, das 6574 flores apenas 3944 eram hermafroditas, as quais formaram 19 frutos totalizando 0,481% de sucesso reprodutivo (**Tabela 6**). Houve a formação de frutos na autopolinização espontânea e na autopolinização manual, com 0,377 % e 0,66% de eficiência, respectivamente. O tratamento polinização cruzada artificial com o pólen de flores estaminadas obteve maior porcentagem (4,66%) que as com o pólen de flores hermafroditas (1,66%). O índice de autopolinização (ISA) foi de 0,57%, e a eficácia reprodutiva (ER) foi de 0,02%.

Tabela 6. Eficiência reprodutiva de *Spondias bahiensis* no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas Bahia, Brasil.

| Frutos Produzidos* | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------------|---|--|-----------------------------|--------------|
| Polinização Natural | Autopolinização espontânea (VOIL) | Autopolinização manual | Polinização cruzada artificial (hermafrodita) | Polinização cruzada artificial (masculina) | Polinização Cruzada Natural | Agamospermia |
| 0,481(19/3944) | 0,377 (15/3973) | 0,66 (2/300) | 1,66 (5/300) | 4,66 (14/300) | 12,66 (38/300) | 0 (0/300) |
| Sementes Produzidas** | | | | | | |
| Polinização Natural | Autopolinização espontânea (VOIL) | Autopolinização manual | Polinização cruzada (hermafrodita) | Polinização cruzada (masculina) | Polinização Cruzada Natural | Agamospermia |
| 78,95 (15) | 0 (0) | 0 (0) | 80 (4) | 71,42 (10) | 84,21 (32) | 0 (0/300) |
| Índices | | Sistema Reprodutivo | | | | |
| IA | 0,57 | | | | | |
| IAI | 0,1 | AI | | | | |
| ER | 0,02 | | | | | |

*Porcentagem de frutos formados e de **sementes obtidas por numero médio de flores hermafroditas. Índice de autogamia (ISA) autopolinização espontânea/autopolinização manual. Índice de autoincompatibilidade (ISI) autopolinização manual / polinização cruzada manual. Eficácia reprodutiva (ER) polinização natural/polinização cruzada natural. ISI > 0,2 como indicativos de autocompatibilidade (conforme Zapata & Arroyo 1978).

No tratamento agamospermia não houve formação de frutos. A maior porcentagem de formação de frutos ocorreu na polinização cruzada aberta (12,66%). Considerou-se que *S. bahiensis* é autoincompatível e necessita de um agente polinizador para maior sucesso reprodutivo de acordo com o índice de autoincompatibilidade (ISI) que foi de 0,1 (**Tabela 6**).

Em relação à formação de sementes, os maiores índices foram da polinização cruzada natural com 84,21%, seguida pela polinização cruzada manual com pólen de flores hermafroditas (80%) e pela polinização natural com 78,95%. Não houve formação de sementes nos frutos da autopolinização espontânea e na autopolinização manual (**Tabela 6**).

Resultados semelhantes foram relatados por Nadia et al. (2007) e Almeida et al. (2011) em *S. tuberosa* e em *S. macrocarpa* por Tavares et al (2020). Os autores ainda relataram que a baixa produção de frutos em relação ao número de flores observada pode ser resultado de fatores extrínsecos como recursos limitantes do ambiente, já que foi observado aborto de frutos jovens.

Tavares et al. (2020) sugeriram que é necessário mais estudos sobre as barreiras pré e pós-polinização e sobre a ecologia reprodutiva das populações naturais de *Spondias* para entender o motivo de uma frutificação tão baixa.

Segundo Kill et al. (2013) essa baixa frutificação em *Spondias* pode ser relacionada às características fisiológicas e genéticas dos materiais, uma vez que a frutificação impõe uma grande demanda sobre a reserva energética da planta. Os autores ainda sugeriram que a sobreposição do período de floração da espécie poderia atuar como um fator adicional sobre a taxa de frutificação, aumentando a competição pelos mesmos agentes polinizadores.

A autocompatibilidade e protandria foram relatadas em *S. mombin* (cajazeira), sendo que as características da planta são de espécie anemófila (LOZANO, 1986; SACRAMENTO e SOUZA, 2000).

No entanto, Oliveira et al. (2012) observaram que *S. mombin*, mesmo sendo preferencialmente alógama, pode apresentar baixa taxa de autogamia. Segundo os autores Schifino-Wittmann e Dall'Agnol (2002), mesmo em espécies altamente autoincompatíveis é possível existir a autofecundação.

Em estudos sobre a polinização cruzada em *S. tuberosa*, utilizando marcadores AFLP, Santos et al. (2011) observaram que a espécie apresentou uma taxa de autofecundação de 0,287% e inferiram que a taxa intermediária de

autofertilização está de acordo com as características florais da espécie, que de certa forma favorece a autopolinização, porém, o umbuzeiro é uma espécie predominantemente de polinização cruzada.

O não vingamento de um fruto pode estar relacionado a uma polinização inadequada, que geralmente é o reflexo de um número baixo de óvulos fertilizados (BONFIM et al., 2013).

É desejável que o pólen seja transferido para o estigma receptivo de outra flor, ou que o grão de pólen seja depositado antes do período receptivo dos estigmas, desde que permaneça viável em tempo suficiente para poder germinar assim que a flor se torne receptiva (RAMOS et al., 2008).

Segundo a classificação de Cruden (1977) espécies xenogâmica, como *S. bahiensis*, apresentam protandria, são autoincompatíveis e a maioria requer um polinizador.

As análises da germinação *in vitro* e testes histoquímicos, da receptividade estigmática e do sistema reprodutivo de *S. bahiensis* demonstraram que, a mesma apresenta estigmas receptivos e pólenes viáveis para a efetividade da polinização e fertilização, e necessita de um agente polinizador para o sucesso reprodutivo.

4. CONCLUSÕES

A espécie *Spondias bahiensis* apresenta fenofases de floração a partir de setembro, como pico de florescimento, na maioria dos indivíduos, entre os meses de novembro e dezembro. Os primeiros frutos surgem entre os meses de outubro a dezembro e o amadurecimento entre os meses de março a maio. Sua morfologia e biologia floral apresentam características típicas da família Anacardiaceae.

As maiores porcentagens de viabilidade dos grãos de pólen para os dois morfos florais ocorreram no estágio de antese, pelos testes histoquímicos e de germinação *in vitro*. O comprimento do tubo polínico foi maior nas flores estaminadas. O estigma de *S. bahiensis* apresenta maior receptividade no estágio da antese.

S. bahiensis é autoincompatível e xenogâmica obrigatória sugerindo que a espécie necessita de agentes polinizadores para a efetiva polinização.

5. REFERÊNCIAS

ALEXANDER, M.P. A. Versatile stain for pollen fungi, yeast and bacterium. **Stain Technology**, v. 5, n. 1, p. 13-18, 1980.

ALMEIDA, A.L.S., ALBUQUERQUE, U.P. AND CASTRO, C.C. Reproductive biology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), an endemic fructiferous species of the caatinga (dry forest), under different management conditions in northeastern Brazil **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 4, p. 330-337, 2011.

ALMEIDA, O.S. Biologia floral. Tendências reprodutivas e efeito alelopático da tulase (*Ocimum sanctum* L.). Dissertação (Mestrado - Agronomia, área de concentração em Fitotecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista. p.88, 2007.

APG - Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV, **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p.1-20, 2016.

ARAÚJO R. R., SANTOS, E. D., FARIAS, D. B. dos S., LEMOS, E. E.P de, Alves, R. E. *Spondias bahiensis*: Umbu-cajá, in: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial, plantas para o futuro: Região Nordeste. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, 2018.

BACHELIER J.B; ENDRESS P.K. Comparative floral morphology and anatomy of Anacardiaceae and Burseraceae (Sapindales), with a special focus on gynoecium structure and evolution. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.159, p.499-571, 2009.

BARROSO, G.M., MORIN. M.P., PEIXOTO, A.L., ICHASO, C.L.F. **Frutos e Sementes Morfologia aplicada à Sistemática de Dicotiledôneas**. UFV, Viçosa, MG, p.443, 1999.

BERTIN, I.R. Pollination biology. In Plant-animal interactions (G.A. Warren, ed.). **McGraw-Hill**, New York, p.23-83, 1989.

BONFIM, I. G. A.; CRUZ, D. de O.; FREITAS, B. M.; ARAGÃO, F. A.S. de.; Polinização em melancia com e sem semente. **Embrapa Agroindústria Tropical Fortaleza**, Ceará, p.53, 2013.

BRAGA, C. S., ZANETTI, G. T., LIMA, J. S., OLIVEIRA, C. A. C., KARSBURG, I. V. Comportamento meiótico e viabilidade polínica de *Averrhoa carambola* L. (Oxalidaceae) por meio de testes colorimétricos. **Agrarian Academy**, v.5, n.9, p. 478-486, 2018.

BUTT, M. A.; ZAFAR, M.; AHMAD, M., SULTANA, S.; ULLAH, F.; JAN, G.; IRFAN, A., NAQVI, S. A. Z. Morpho-palynological study of Cyperaceae from wetlands of Azad Jammu and Kashmir using SEM and LM. **Microscopy Research and Technique**, New Jersey, v. 81, n. 5, p. 458-468, 2018.

CARNEIRO, L.T.; MARTINS, C.F. As abelhas africanizadas polinizam e se apropriam do pólen das flores de *Spondias mombin* (Anacardiaceae). **Apidologie**, v.43 n.4, p.474-486, 2012.

CARVALHO, P.C.L.; RITZINGER, R.; SOARES FILHO, W.S.; LEDO, C.A.S. Características morfológicas, físicas e químicas de frutos de populações de umbucajazeira no estado da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p.140-147, 2008.

CAVALCANTI, N. de B.; LIMA, J. L. S.; RESENDE, G. M.; BRITO, L. T. de L. Ciclo reprodutivo do Imbuzeiro (*Spondias tuberosa*, Arr. Cam) no Semi-árido do Nordeste Brasileiro. **Revista Ceres**. v.47, n. 272, p. 421-439, 2000.

CRUDEN, R.W. Pollen-ovule ratio: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. **Evolution**, v.222, p.143-165, 2000.

CERQUEIRA, G.R.; ILKIU-BORGES, A.L.; FERREIRA, L.V. Seasonality of reproduction of epiphytic bryophytes in flooded forests from the Caxiuanã National Forest, eastern Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** v.88, p. 90-910, 2016.

CRUDEN, R.W. Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants, **Evolution**, v.31, n.1, p.32-46, 1977.

DAFNI, A. Pollination ecology: a practical approach (the practical approach series). New York: **Oxford University Press**, p.250, 1992.

DAFNI, A.; KEVAN, P. G.; HUSBAND, B. C. Practical pollination biology. Cambridge, Cambridge University Press, 2005.

DAFNI, A.; MAUÉS, M. M.A rapid and simple procedure to determine stigma receptivity. **Sexual Plant Reproduction**, v. 11, p. 177-180, 1998.

DIAS, D. L. O., BRITTO, F. F., AMARAL, C. L. F., MAFFEI, E. M. D., LIBARINO, V. D. Determinação do sistema reprodutivo de parentais para produção de híbridos entre *P. cincinnata* Mast. e *P. quadrangularis* Linn. **Revista Cultura Agronômica**, v. 27, n. 4, p. 407, 2018.

ERDTMAN, G. Pollen Morphology and Plant Taxonomy. Angiosperms. **Almqvist and Wiksell**, p.539, 1952.

FAO- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. FAO. FAOSTAT. Divisão de estatística. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.Ac>> ,2023. Acesso em: 16. Mar. 2023.

FENNER, R.; BETTI, A. H.; MENTZ, L. A.; RATES, S. M. K. Plantas utilizadas na medicina popular brasileira com potencial atividade antifúngica. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 3, p. 369-394, 2006.

FENNER, M. The phenology of growth and reproduction in plants. **PPEES**, v. 1, p.78-91, 1998.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FONSECA, N., MACHADO, C.D.F., SILVA JUNIOR, J.F., CARVALHO, R.D.S., RITZINGER, R., ALVES, R., MAIA, M. Umbu: cajá e espécies afins: *Spondias* spp. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cartilha (INFOTECA-E) p. 29, 2017.

HESSE, M.; HALBRITTER, H.; ZETTER, R. **Pollen Terminology: an illustrated handbook**. Berlin. Springer Verlag, 2009. 261p.

HISTER, C. A. L.; TEDESCO, S. B. Estimativa da viabilidade polínica de araçazeiro (*Psidium cattleianum* Sabine) através de distintos métodos de coloração. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 18, p. 135-141, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados meteorológicos do posto Cruz das Almas - BA (1980-2012)** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 13 nov. 2022.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática Vegetal** – um enfoque filogenético. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 632, 2009.

KEARNS, C.A. & INOUE, D.W. **Techniques for pollination biologists**. Niwot: University Press, of Colorado, 1993.

KIILL, L.H.P.; SILVA, T.A.; ARAUJO, F.P. Fenologia reprodutiva de espécies e híbridos do gênero *Spondias* L. (Anacardiaceae) em Petrolina, PE. Petrolina:

Embrapa Semiárido. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 110, p. 21, 2013.

LOZANO, N.B. Desarrollo y anatomia del fruto del jabo (*Spondias mombin* L.). **Caldasia**, v. 14, n. 68-70, p. 465-490, 1986.

MACHADO, M. C.; CARVALHO, P. C. L.; VAN DEN BERG, C. Domestication, hybridization, speciation, and the origins of an economically important tree crop of *Spondias* (Anacardiaceae) from the Brazilian caatinga dry forest. **Neodiversity**. v. 8, n. 1, p. 8-49, 2015.

MAUÉS, M. M.; COUTURIER, G. Biologia floral e fenologia reprodutiva do camu-camu (*Myrciaria dubia* (H. B. K.) Mc Vaugh, Myrtaceae) no Estado Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.25, n. 4, p. 441-448, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbb/v25n4/a08v25n4.pdf>> Acesso em: 15 abr 2022.

MILLER, A.; SCHAAL, B. Domestication of a Mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, v.102, p.12801-12806, 2005.

MITCHELL, J. D., DALY, D. C. A revision of *Spondias* L. (Anacardiaceae) in the Neotropics. **Phytokeys**, v.55, p.1-92, 2015.

MITCHELL, J.D.; PELL, S.K.; BACHELIER, J.B.; WARSCHEFSKY, E. J., JOYCE, E. M.; Canadell, L. C. Silva-Luz C. L; da; Coiffard, C. Neotropical Anacardiaceae (cashew family). **Brazilian Journal of Botânica**, v. 45, p. 139-180, 2022.

NADIA, T. de L.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Polinização de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) e análise da partilha de polinizadores com *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), espécies frutíferas e endêmicas da Caatinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 89-100, 2007.

NOBRE, L. L. D. M.; SANTOS, J. D. O. D.; LEITE, R.; ALMEIDA, C. Phylogenomic and single nucleotide polymorphism analyses revealed the hybrid origin of *Spondias bahiensis* (family Anacardiaceae): de novo genome sequencing and comparative genomics. **Genetics and Molecular Biology**, v.41 p. 878-883, 2018.

NOLETO, B. M. F. Sistemática e modelagem de distribuição potencial de espécies de *Spondias* L. (Anacardiaceae) no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Biologia, Tese (Doutorado em Biologia Evolutiva), 2019.

PAGLIARINI, M. S.; POZZOBON, M. T. **Meiose em vegetais: um enfoque para a caracterização de germoplasma**. In: II Curso de citogenética aplicada a recursos vegetais, 2, 2004, Brasília. Anais, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Brasília: EMBRAPA, p. 86, 2004.

PARTON, E.; VERVAEKE, R. DELEN, B. R. VANDENBUSSCHE, R. DE PROFT, M. Viability and storage of bromeliad pollen. **Euphytica**, v. 125, p. 155-161, 2002.

PEARSE, A. G. E. **Histochemistry, theoretical and applied**. 2. ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1972. 631p.

PELL, S. K., MITCHELL, J. D., LOBOVA, T., AND MILLER, A. J. Anacardiaceae. In: The Families and Genera of Vascular Plants, v. 10, ed K. Kubitzki. New York, NY: **Springer-Verlag**, p.7-50, 2011.

PEREIRA, A. S. DE S., FÉLIX-DA-SILVA, M.M, BARBOSA, C. V. DE O., SMITH, C. B. Estudo polínico de *Anacardium* L. (Anacardiaceae) no Estado do Pará (Amazônia Oriental), Brasil. **Biota Amazônia**, v. 4, n. 3, p. 57-61, 2014.

PYKE, G. H. Plant–pollinator co-evolution: It's time to reconnect with Optimal Foraging Theory and Evolutionarily Stable Strategies. *Perspectives in Plant Ecology*, **Evolution and Systematics**, v. 19, p. 70-76, 2016.

RAMOS, J. D.; PASQUAL, M.; SALLES, L. A.; CHAGAS, E. A.; PIO R. Receptividade do estigma e ajuste de protocolo para germinação *in vitro* de grãos de pólen de citros. **INCI [online]**, v.33, n.1, pp.51-55., 2008.

RATHCKE, B.; LACEY, E.P. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.16, p.179-214, 1985.

RAYNAL, A.; RAYNAL, J. Une technique de preparation des grains de pollen fragiles. **Adansonia**, v. 2, n. 11, p. 77-79, 1979.

RECH, A.R.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA, P.E.; MACHADO, I. C. **Biologia da Polinização**. Rio de Janeiro: Projeto Cultural. p.524, 2014.

RECH, A. R.; ABSY, M. L. Pollen storages in nests of bees of the genera *Partamona*, *Scaura* and *Trigona* (Hymenoptera, Apidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, p.361-372, 2011.

REZENDE, J. O. **Solos coesos de tabuleiros costeiros:limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, p.117, 2000.

RIGAMOTO, R. R.; TYAGI, A. P. Pollen fertility status in coastal plant species of rotuma Island. **South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences**, v. 20, p. 30-33, 2002.

SACRAMENTO, C.K.; SOUSA, F.X. Cajá (*Spondias mombin* L.). FUNEP, Jaboticabal. (Série Frutas Nativas, n. 4). 2000. 52p.

SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V.R.; RODRIGUES, M.A, RIBEIRO, H. L. C.; DRUMOND, M. A. Estimativas de polinização cruzada em população de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) usando marcador AFLP. **Revista Árvore**

[online]. v. 35, n. 3, p. 691-697, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000400013>> Acesso em 09 mai 2022.

SANTOS, T.; TIAGO, P.; SCHMITT, K. F.; MARTINS, K.; ROSSI, A. A. Viabilidade pólinica em *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) baseada em diferentes testes colorimétricos. **Enciclopédia Biosfera**, 11, n. 22, 2015.

SCHIFINO-WITTMANN, M. T.; DALL'AGNOL, M. Auto-incompatibilidade em plantas. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 1083-1090, 2002.

SILVA-LUZ, C.L.; PIRANI, J.R.; PELL, S.K.; MITCHELL, J.D. **Anacardiaceae** in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB4406>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

SOARES, T. L.; SILVA, S. O.; COSTA, M. A. P. C.; SANTOS-SEREJO, J. A.; SOUZA, A. S.; LINO, L. S. M.; SOUZA, E. H.; JESUS, O. N. In vitro germination and viability of pollen grains of banana diploids. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 111-118, 2008.

SOUZA, F. X. de.; FRANCA, M. J. P. da. Avaliação da antese em cajazeira. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA. Blumenau. Resumos. Blumenau: Sociedade Brasileira de Botânica, v. 50, p. 207.1999.

SOUZA, F.X.; PORTO FILHO, F. Q.; MENDES, N.V.B. **Umbu-cajazeira: descrição e técnicas de cultivo**. Mossoró: UFERSA, p.103, 2020.

SOUZA, M. M.; PEREIRA, T. N. S.; MARTINS, E. R. Microsporogênese e microgametogênese associadas ao tamanho do botão floral e da antera e viabilidade pólinica em maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims flavicarpa degener). **Ciência Agrotecnica**, v.26, n. 6, p.1209-1217, 2002.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 740p, 2008.

STONE, J.L.; THOMSON, J.D.; DENT-ACOSTA, S.J. Assessment of pollen viability in hand-pollination experiments: a review. **American Journal of Botany**, v. 82, p. 1186-1197, 1995.

TAVARES M.C; TÖLKE E.D; NUNES C.E.P; CARMELLO-GUERREIRO S.M; Floral morpho-anatomy and reproductive ecology of *Spondias macrocarpa* Engl. (Anacardiaceae), a vulnerable neotropical andromonoecious tree. *Flora* 273. 2020.

TAYLOR, L.P.; HEPLER, P. K. Pollen germination and tube growth. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.48 p. 461-91, 1997.

VIDAL, W. N.; VIDAL, M.R.R. **Botânica - Organografia**. 4ª ed. Ed. Viçosa, 2008.

WILLMER, P. **Pollination and floral ecology**. New Jersey, UK, Princenton University Press, p.778, 2011.

ZAPATA, T. R.; ARROYO, M. T. K. Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. **Biotropica**, v.10 n.3. p. 221-230, 1978.

ZEISLER, M. Über die Abgrenzung des eigentlichen Narbenfläche mit Hilfe von Reaktionen. **Beihefte zum Botanischen Centralblatt**, v. 58, n. 1, p. 308-318, 1933.

ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G.. **Agronomia Avanços e perspectivas**. Nova Xavantina, Mt: Pantanal Editora, 2020.

CAPÍTULO 3

**VISITANTES E RECURSOS FLORAIS DE *Spondias bahiensis* P. CARVALHO,
VAN DEN BERG & M. MACHADO, NO RECÔNCAVO BAIANO**

**VISITANTES E RECURSOS FLORAIS DE *Spondias bahiensis* P. CARVALHO,
VAN DEN BERG & M. MACHADO, NO RECÔNCAVO BAIANO**

RESUMO: Os agentes polinizadores ao realizar a polinização contribuem para a manutenção da vida no ecossistema e uma maior produção de frutos e sementes. As abelhas estão entre os principais e eficientes agentes polinizadores. Objetivou-se estudar os requerimentos florais, conhecer a fauna visitante floral e determinar, por meio de observações, os potenciais polinizadores da *Spondias bahiensis* no recôncavo baiano. Para a determinação dos visitantes florais, foram realizadas observações diretas em campo, no período de novembro e dezembro de 2022 e Janeiro de 2023. Também foram avaliados os recursos florais através das análises de horário de liberação do pólen, viabilidade dos grãos de pólen, receptividade do estigma e observações da presença de osmóforos. Os visitantes florais iniciam as visitas às flores de *S. bahiensis* a partir das 6h da manhã. Foi contabilizado um total de 2.955 indivíduos visitando as flores de *S. bahiensis*, sendo todos insetos. Dentre os visitantes, 84,6% representaram a família Apidae. As espécies *Trigona* spp., *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponini), *Tetragonisca angustula* (Latreille) (Hymenoptera: Meliponinae) e *Apis mellifera* L. representaram o grupo mais abundante e frequente. A liberação dos grãos de pólen iniciou às 06h da manhã. Os grãos de pólen de *S. bahiensis* apresentam altas taxas de viabilidade nos dois primeiros dias, nas flores estaminadas, e nos quatro primeiros dias, nas flores hermafroditas. O estigma apresentou resposta positiva muito forte nos dois primeiros dias da antese da flor. A presença de osmóforos em *S. bahiensis* foi observada por toda corola principalmente nas anteras e estigma. Sugere-se que, a polinização em *S. bahiensis*, ocorrendo nas primeiras horas da manhã e nos primeiros dias de abertura da flor, pode ser mais eficiente.

Palavras chave: Anacardiaceae, Flor, Polinizadores.

**VISITORS AND FLORAL RESOURCES OF *Spondias bahiensis* P.
CARVALHO, VAN DEN BERG & M. MACHADO, IN THE RECÔNCAVO BAIANO**

ABSTRACT: When pollinating agents carry out pollination, they contribute to the maintenance of life in the ecosystem and a greater production of fruits and seeds. Bees are among the main and efficient pollinators. The objective was to study the floral requirements, learn about the visiting floral fauna and determine, through observations, the potential pollinators of *Spondias bahiensis* in the Bahian Recôncavo region. To determine floral visitors, direct observations were carried out in the field, between November and December 2022 and January 2023. Floral resources were also evaluated through analyzes of pollen release time, pollen grain viability, stigma receptivity and observations of the presence of osmophores. Floral visitors begin visiting *the S. bahiensis* flowers from 6:00 in the morning. A total of 2,955 individuals were recorded visiting the flowers of *S. bahiensis*, all of which were insects. Among the visitors, 84.6% represented the Apidae family. The species *Trigona* spp., *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponini), *Tetragonisca angustula* (Latreille) (Hymenoptera: Meliponinae) and *Apis mellifera* L. represented the most abundant and frequent group. The release of pollen grains started at 6 am. *S. bahiensis* pollen grains show high viability rates in the first two days, in staminate flowers, and in the first four days, in hermaphrodite flowers. The stigma showed a very strong positive response in the first two days of flower anthesis. The presence of osmophores in *S. bahiensis* was observed throughout the corolla, mainly in the anthers and stigma. It is suggested that pollination in *S. bahiensis*, occurring in the early hours of the morning and in the first days of flower opening, may be more efficient.

Keywords: Anacardiaceae, Flower, pollinators.

1. INTRODUÇÃO

A polinização é o processo de transferência dos grãos de pólen dos estames para o estigma, de uma mesma flor ou de outra flor da mesma espécie vegetal (DELAPLANE; MAYER, 2000; IMPERATRIZ-FONSECA; JOLY, 2017; KLEIN et al., 2020). Este processo é fundamental para a propagação e a manutenção da biodiversidade das espécies vegetais (WITTMANN, 2000; FREITAS; NUNES-SILVA, 2012) e de enorme importância tanto para o ecossistema quanto para a agricultura (WRATTEN et al., 2012; COSTANZA et al., 2017).

Algumas plantas não necessitam da polinização animal ou biótica, sendo polinizadas pelo vento, água ou até pela ação da gravidade (GIANNINI et al., 2015; IMPERATRIZ-FONSECA; JOLY, 2017). Contudo, a maioria das espécies que se autopolinizam ou que são polinizadas pelo vento alcançam maior produção de frutos e sementes quando tem sua polinização complementada por animais (FREITAS; SILVA, 2

015; GARIBALDI et al., 2015; KLEIN et al., 2020).

A efetividade da polinização em muitas plantas permite a geração de frutos de melhor qualidade, maior quantidade de sementes, grãos, vagens, folhagens, raízes, óleos vegetais, essências e corantes naturais, que são utilizados em grande demanda pela sociedade (WRATTEN et al., 2012; GIANNINI et al., 2015; GARIBALDI et al. 2016; KLEIN et al., 2020).

Considera-se que 75% das culturas agrícolas e 87,5% das plantas com flores necessitam da polinização animal (OLLERTON et al., 2011; RECH et al., 2014). Existem espécies de plantas que são totalmente dependentes da polinização biótica e dos seus polinizadores efetivos (IMPERATRIZ-FONSECA; JOLY, 2017).

Muitos são os agentes polinizadores, principalmente os insetos, mas as abelhas ganham destaques (RICKETTS et al., 2008; RECH et al., 2014; WITTER et al., 2014; IMPERATRIZ-FONSECA; JOLY, 2017) porque visitam diariamente inúmeras flores em busca de alimento para suas necessidades alimentares, de sua prole e algumas espécies, sustentam as suas colônias (WITTER et al., 2014; IMPERATRIZ-FONSECA; JOLY, 2017).

Existe uma coevolução entre planta-polinizador e o exemplo mais nítido pode ser percebido na necessidade que as abelhas têm ao buscar néctar e pólen nas flores, como fonte exclusiva de alimentos, e das plantas ao serem beneficiadas com a efetividade da polinização (RECH et. al., 2014; PYKE, 2016). Dentre as espécies vegetais, muitas fruteiras de interesse agrônomo se beneficiam da polinização efetivada pelas abelhas (FREITAS; SILVA, 2015; IMPERATRIZ-FONSECA; JOLY, 2017).

A fruticultura brasileira tem se destacado nos últimos anos e tem grande participação no agronegócio do país, principalmente pelo consumo da fruta de forma *in natura* (FAO, 2023). Entre as várias espécies de frutíferas exploradas no país, estão as espécies do gênero *Spondias*.

A espécie *Spondias bahiensis* P. Carvalho, Van Den Berg & M. Machado, conhecida com umbu-cajazeira, é uma fruteira tropical que tem sido muito valorizada não apenas pela comercialização do fruto *in natura*, mas também pela utilização na produção de sucos e sorvetes (ARAÚJO et al., 2018; SOUZA et al., 2020).

O aumento na procura e demanda por frutos de umbu-cajazeira, desperta interesse no cultivo da espécie, mas, apesar de todo potencial, a espécie ainda não tem cultivares estabelecidas e sugeridas para cultivo comercial, e depende da produção obtida do extrativismo que é sazonal e insuficiente (ARAÚJO et al., 2018).

Dessa forma, destacando a importância da espécie para a sociedade, principalmente pelos inúmeros benefícios e aliado ao fato de a umbucajazeira ainda ser pouco pesquisada, não havendo ainda, na literatura científica brasileira resultados que possam ser utilizados como recomendações técnicas para seu cultivo (SOUZA et al., 2020), faz-se necessário estudos principalmente no que tange à sua polinização e reprodução.

O conhecimento dos visitantes florais e potenciais polinizadores traz base para o desenvolvimento de planos de manejo e técnicas de polinização dirigida, além de contribuir para o entendimento da conservação e da ecologia reprodutiva da comunidade vegetal e dos seus polinizadores.

Para determinar as espécies de polinizadores efetivos de determinada planta, faz-se necessário a observação e o levantamento de todos os visitantes

florais. Essa investigação também pode determinar o nível de preservação das populações dos polinizadores naquela área agrícola.

Neste contexto, objetivou-se estudar os requerimentos florais, conhecer a fauna visitante floral e determinar, por meio de observações, os potenciais polinizadores da *Spondias bahiensis*, para contribuir na compreensão da biologia da polinização dessa espécie e subsidiar experimentos de manejo para os seus polinizadores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em plantas estabelecidas na Coleção de Germoplasma de umbu-cajazeira instalada no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, na cidade de Cruz das Almas – BA. A coleção foi instalada em junho de 2011 e consta de 80 indivíduos, de cinco genótipos diferentes, propagados por enxertia.

O Município encontra-se entre às coordenadas geográficas 12°40'0" S e 39°06'0" W. A altitude é de 200 m acima do nível do mar, clima Aw a Am, tropical quente e úmido, segundo a classificação de Köppen (ZUFFO e AGUILERA, 2020). A pluviosidade média anual é de 1224 mm, com incidências de chuvas entre o período de março e junho. A umidade relativa do ar é de aproximadamente 80% e a temperatura média anual de 24,5°C (INMET, 2012). O solo da área experimental é Latossolo Amarelo coeso, apresenta textura franco argilo-arenoso, profundo, com presença de horizontes subsuperficiais coesos e um relevo plano (REZENDE, 2000).

2.1 Recursos Florais

2.1.1 Horário de liberação do pólen

As panículas foram ensacadas um dia antes da antese das flores. A cada duas horas, no intervalo das 06h às 16h de um dia, foram realizadas coletas de flores para avaliar a liberação dos grãos de pólen. Três flores de cada morfo floral (hermafrodita e estaminada) foram coletas a cada duas horas, totalizando 36

flores. As flores foram friccionadas em uma lâmina, e logo após, foi contabilizada a quantidade de grãos de pólen liberados, com o auxílio de um microscópio Olympus CX41. Os valores da quantidade de grãos, para cada morfo floral, foram submetidos à análise de variância ANOVA, e teste de Tukey ao nível de 5% de significância utilizando o programa SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2014).

2.1.2 Viabilidade dos grãos de pólen

Para avaliar a viabilidade polínica, por dia, as panículas foram ensacadas um dia antes da antese das flores. Foi utilizado o reativo de Alexander a 2 %. Para a amostragem foram colhidas três flores de cada morfo floral (hermafrodita e estaminada), a cada hora, totalizando 36 flores. As anteras das flores foram friccionadas sobre a lâmina e o pólen ficou distribuído na mesma. O Reativo de Alexander a 2 % foi adicionado às lâminas de cada morfo floral.

A avaliação ocorreu por cinco dias consecutivos nas flores hermafroditas e por três dias nas flores estaminadas, uma vez que, esse é o tempo que cada morfo floral dura após a antese. Considerou-se como pólen viável aquele que o protoplasma apresentou a coloração púrpura e inviável aquele com coloração verde claro ou azul claro. Os grãos de pólen foram fotomicrografados utilizando-se um microscópio Olympus CX41 com uma câmera digital acoplada Olympus E330. A porcentagem de grãos de pólen viáveis foi determinada de acordo com a fórmula:

$$\text{Viabilidade do pólen (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de grãos de pólen corados} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ de grãos pólen total}}$$

Os dados de viabilidade foram submetidos à análise de variância ANOVA, e teste de Tukey ao nível de 5% de significância utilizando o programa SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2014).

2.1.3 Receptividade do estigma

Na avaliação da receptividade do estigma, as panículas foram ensacadas um dia antes da antese das flores e a cada dia subsequente, três flores

hermafroditas foram colhidas para a avaliação durante cinco dias consecutivos, totalizando 15 flores. A receptividade do estigma foi avaliada utilizando-se o peróxido de hidrogênio 3% (ZEISLER, 1933) e conferindo graus, conforme adaptação de (DAFNI; MAUÉS, 1998): (-) sem reação; (+) resposta positiva fraca; (++) resposta positiva forte; (+++) resposta muito forte. As microfotografias foram obtidas com auxílio de estereomicroscópio Leica EZ4 D.

2.1.4 Nectar e Osmóforos

As panículas foram ensacadas no dia anterior a antese das flores. Para a coleta do néctar, para avaliar a concentração e o volume, utilizou-se a microseringa de Hamilton 1µL e tubos microcapilares de 1µL.

Para avaliação dos osmóforos, dez flores previamente ensacadas foram mergulhadas em solução de vermelho neutro (1%) durante duas horas, sendo observadas as partes florais coradas (VOGEL, 1990; DAFNI, 1992; KEARNS E YNOUYE, 1993).

Para verificar a emissão de odor, 30 flores de três indivíduos distintos foram colocadas em um recipiente de vidro com tampa, sendo cheirados após 30 minutos (DAFNI, 1992, KEARNS E INOUYE, 1993).

2.2 Visitantes florais

Para determinar os visitantes florais de *S. bahiensis* foram realizadas observações diretas em campo, totalizando 150 horas de observação (novembro e dezembro de 2022 e Janeiro de 2023). Os horários das visitas foram registrados e os potenciais polinizadores foram determinados de acordo com a frequência, abundância e comportamento durante as visitas. O comportamento dos visitantes florais foi estudado por observações diretas, fotografados e filmados durante as visitas às flores.

Para a amostragem da abundância e frequência, os visitantes florais foram contabilizados em quatro dias não consecutivos (dezembro de 2022 e janeiro de 2023). Também foi avaliada a distribuição dos insetos ao longo do intervalo de um dia (06:00h às 16:00h) totalizando 40 horas de observação.

Para essa amostragem foram selecionadas oito árvores com floração distribuída ao redor da copa, para evitar a influência do sol ou da sombra sobre os insetos. Cada planta foi amostrada por dois minutos a cada hora.

Os visitantes foram contados, a fim de determinar a frequência e a abundância. A abundância refere-se à quantidade de insetos, de todas as espécies, visitando as plantas, durante todo período. Para a frequência determinou-se a quantidade de uma determinada espécie presente nas oito plantas, de acordo com o horário. Os insetos coletados não foram contabilizados, pois, era somente para identificação.

Durante as observações e amostragem nos quatro dias não consecutivos, os visitantes florais foram coletados para identificação taxonômica. Os insetos que visitavam as flores foram capturados por meio de redes entomológicas, sendo a rede posicionada ao redor e sobre as inflorescências. Os insetos capturados foram, mortos em câmaras mortíferas com acetato de etila, etiquetados, alguns foram conservados em álcool 70% e outros montados com alfinete. Os insetos capturados foram identificados em nível de ordem, família, gênero ou espécie, a depender das possibilidades para cada grupo taxonômico. A identificação foi realizada por comparação no Insecta-UFRB e após a identificação os insetos foram descartados. Os insetos foram coletados sob a licença do Sistema de Autotização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) número 84795-1.

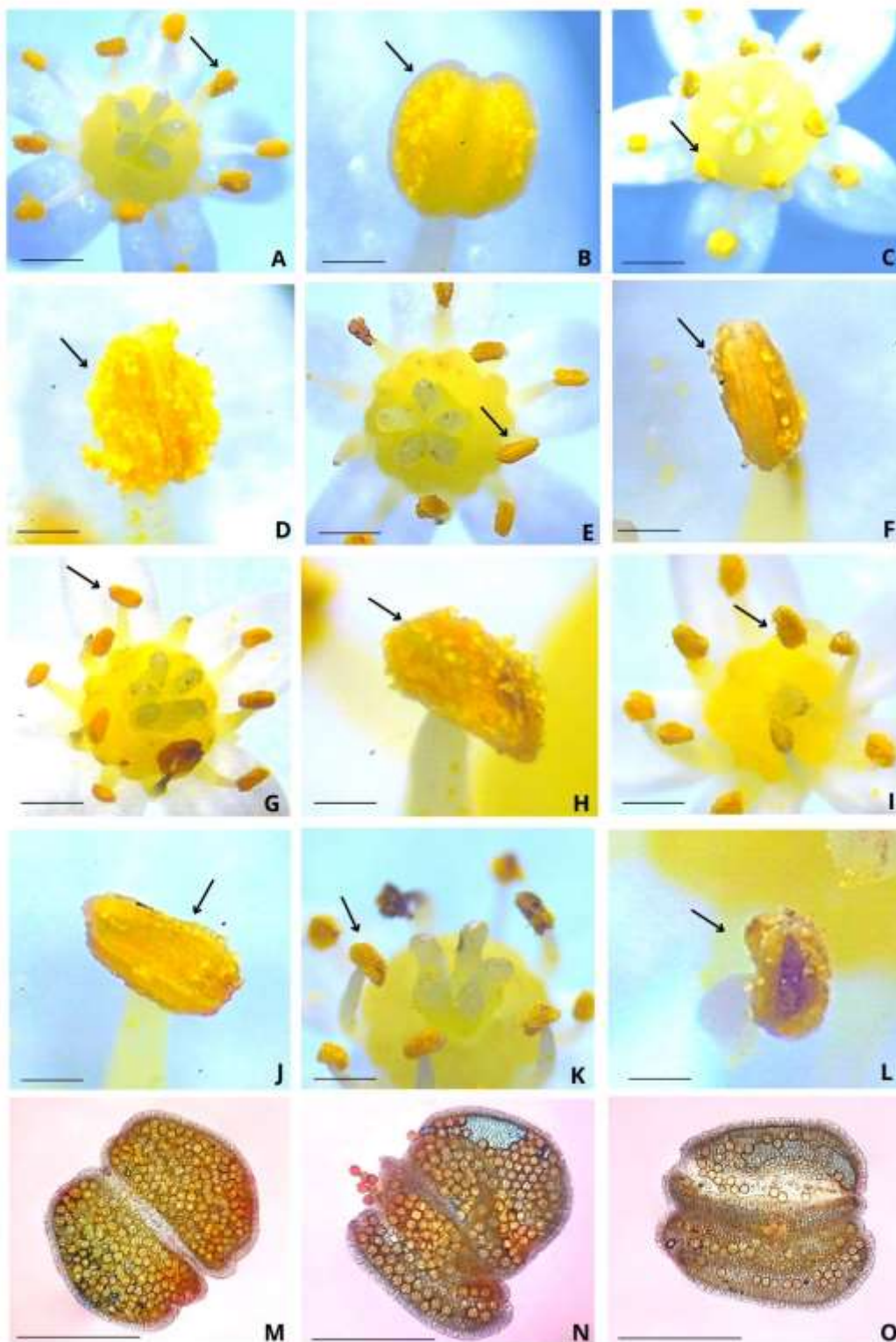
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Recursos Florais

3.1.1. Horário de liberação do pólen

A deiscência das anteras é longitudinal e a liberação do pólen começa logo após a antese (**Figura 1**), com o pico da liberação do pólen ocorrendo às 06h da manhã. A partir desse momento ocorre, uma redução gradativa na quantidade de pólen presente nas anteras das flores, até aproximadamente às 16h, que é o horário em que as anteras já estão quase completamente desprovidas de grãos de pólen.

Figura 1. Flores de *S. bahiensis* em condições no Recôncavo Baiano, Cruz das Almas-BA. Detalhes das anteras das flores por horário de coleta. A-B anteras das flores as 6:00h. C-D anteras das flores as 8:00h. E-F anteras das flores as 10:00h. G-H anteras das flores as 12:00h. I-J anteras das flores as 14h. K-L anteras das flores as 16:00h. M- antera vista ao microscópio 5:00h. N- antera vista ao microscópio 6:00h. O- antera vista ao microscópio 8:00h.



Fonte: Acervo Insecta, 2022.

As visitas às flores de *S. bahiensis* começaram por volta das 06h da manhã e após as 8h ocorreu um decréscimo, sem registro de visitas a partir das 16h. Os horários de visitas, principalmente de abelhas, acontecem concomitantemente aos horários em que ocorre a maior liberação dos grãos de pólen das anteras (**Tabela 1**).

Em outras espécies de *Spondias* ocorre situação semelhante com a oferta de pólen. Por exemplo, em *S. macrocarpa* as anteras ficaram deiscentes desde as primeiras horas da antese (TAVARES et al., 2020). Em *S. tuberosa* a maior quantidade de pólen disponível nas flores é pela manhã, após o início da antese às 6h, e a quantidade de pólen após às 9h é extremamente baixa (NADIA et al., 2007).

De acordo com as observações de Nadia et al. (2007), as visitas frequentes de abelhas às flores de *S. tuberosa* logo no início da manhã, pode explicar o decréscimo acentuado de grãos de pólen ao longo do dia.

Em *S. mombin*, no estudo realizado por Oliveira et al. (2020), a liberação de pólen começou no início do dia, assim que a antese começou às 05h. Logo após, a quantidade de pólen nas anteras reduziu progressivamente coincidindo com a época do início da senescência floral.

Tabela 1. Quantidade de grãos de pólen de *S. bahiensis* liberados por horário.

| Horário | Tipo | |
|---------------|------------|--------------|
| | Estaminada | Hermafrodita |
| 6:00 | 739 aB | 817,6 aA |
| 8:00 | 260 bA | 333,6 bA |
| 10:00 | 199 bcA | 206,6 cA |
| 12:00 | 156,6 bcA | 178,6 cA |
| 14:00 | 145,3 cA | 181,6 cA |
| 16:00 | 130,3 cA | 105,0 cA |
| CV (%) | | 15,62 |

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi observado nas flores de *S. bahiensis* que logo após a liberação dos grãos de pólen, as anteras começaram a escurecer. Segundo Nishihara e Nakatsuka (2011) e Ohashi et al. (2015) essa mudança de coloração ao longo da

antese ocorre através de alterações no acúmulo de pigmentos, na manifestação de um pigmento sobre o outro ou até mesmo na combinação destes.

A mudança de coloração, das anteras, pode ser desencadeada pela polinização ou programada com a idade da flor (SUZUKI; OHASHI, 2014). Os autores Brito et al. (2015) e Makino e Ohashi (2016) sugeriram que a permanência dessas flores, com pigmentação mais escura, nas plantas incrementa o display floral, e contribui para a sinalização dos visitantes florais.

3.1.2 Viabilidade polínica e Receptividade do estigma

Na avaliação da viabilidade do pólen com o reativo de Alexander, foram observados valores acima de 70% nos primeiros quatro dias nas flores hermafroditas e nos dois primeiros dias nas flores estaminadas (**Tabela 2**). Na avaliação do quinto dia (antes da senescência da flor) as flores hermafroditas apresentaram valores abaixo de 70% na viabilidade dos grãos de pólen (**Figura 2C**). O mesmo acontece na avaliação do terceiro dia (antes da senescência da flor) nas flores estaminadas (**Figura 2F**).

Tabela 2. Percentuais médios da viabilidade de grãos de pólen de *S. bahiensis* por dia.

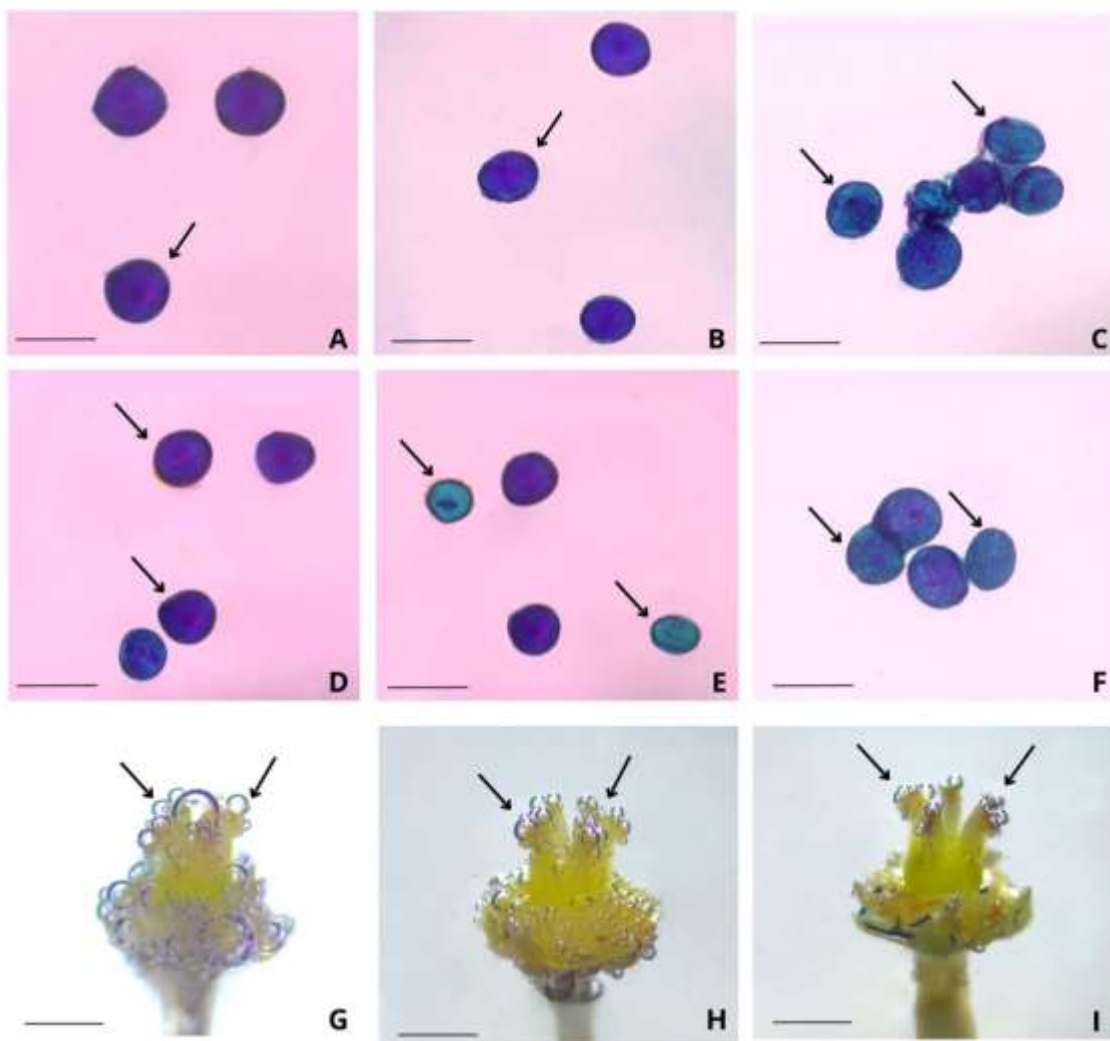
| DIA | TIPO | |
|-----|--------------|------------|
| | Hermafrodita | Estaminada |
| 1 | 96,6 aA | 98,4 aA |
| 2 | 96,4 aA | 95,4 aA |
| 3 | 96,0 aA | 60,2 bB |
| 4 | 93,9 a | |
| 5 | 57,4 b | |
| CV | | 13,67 |

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve diferenças estatísticas entre as médias que representavam os quatro primeiros dias das flores hermafroditas e os dois primeiros dias das flores

estaminadas. A taxa de viabilidade, encontrada neste estudo, para a espécie foi considerada alta para os dois primeiros dias nas flores estaminadas e nos quatro primeiros dias das flores hermafroditas. Segundo Auler et al. (2006) e Souza et al. (2002) a viabilidade do pólen acima de 70- 90% é considerada alta.

Figura 2. Viabilidade dos grãos de pólen com Alexander a 2 %, setas indicam grãos de pólen inviáveis com coloração verde ou azul claro e pólen viáveis com coloração azul escuro ou roxo (A-F). A. grão de Pólen de flores hermafroditas de primeiro dia da antese. B. grãos de pólen de flores hermafroditas terceiro dia da antese. C. Grãos de pólen de flores hermafroditas quinto dia da antese. D. Grãos de pólen de flores estaminadas primeiro dia da antese. E. Grãos de pólen de flores segundo dia da antese. F. Grãos de pólen de flores estaminadas terceiro dia da antese. Teste de receptividade de estigma na flor de *Spondias bahiensis* utilizando solução de peróxido de hidrogênio 3% (G-K). G. Flor do primeiro dia da antese. H. Flor do terceiro dia da antese. I. Flor do quinto dia da antese. Barras: (A-F) 50 μ m.(G-K) 1mm.



Valores de viabilidade polínica acima de 70% foram relatados para *S. mombin*, (ZORTÉA et al., 2019), *S. tuberosa* (NADIA et al., 2007) e *S. macrocarpa* (TAVARES et al., 2020), contemplando os dois tipos florais as flores estaminadas e as hermafroditas.

Foi observada, em *S. bahiensis*, a perda de viabilidade polínica em função do tempo, após a abertura da flor. Esse fator também foi observado por Souza et al. (2002) em estudos com maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener).

Com relação à receptividade de estigma das flores de *S. bahiensis*, utilizando a solução de peróxido de hidrogênio 3%, observou-se formação de bolhas de ar na cavidade estigmática indicando a atividade da peroxidase. O estigma está receptivo durante cinco dias (antes da senescência da flor), contudo, o período de maior receptividade ocorre nos dois primeiros dias da antese (**Figura 2G-K**).

Semelhante aos resultados obtidos com a *S. bahiensis*, a espécie *S. tuberosa* apresentou maior receptividade do estigma nos primeiros dias após a antese (NADIA et al., 2007), enquanto *S. macrocarpa* apresentou receptividade desde a antese (TAVARES et al., 2020).

Em outra espécie de Anacardiaceae, *Tapirira guianensis*, os estigmas estiveram receptivos durante seis dias e entraram em senescência no sétimo dia após a antese. A formação de bolhas de ar foi mais intensa em flores recém-abertas até no segundo dia (FERNANDES; VENTURIERI; JARDIM, 2012).

Em *S. bahiensis*, assim como em *S. tuberosa* e *S. macrocarpa*, a receptividade estigmática é maior nos primeiros dias após a antese e pode sugerir que essas espécies podem ter uma polinização mais eficiente durante esse período.

A depender da espécie, a duração da receptividade do estigma varia de poucas horas até 10 dias e pode ser influenciada pela idade da flor, pelas condições climáticas do dia e pela presença ou ausência de exsudato estigmático. A probabilidade de os estigmas receberem números de grãos de pólen suficiente é aumentada quando a receptividade estigmática é mais longa, havendo relação entre a duração da receptividade e o número de grãos de pólen (CRUDEN, 2000).

Identificar o momento em que estigma está receptivo é um fator fundamental para se determinar o melhor período de deposição do pólen na flor

para que ocorra a fecundação (CRUDEN, 2000). Segundo Maués e Couturier (2002), quando o estigma da flor está receptivo, ele produz substâncias viscosas que facilita a aderência do pólen, garantindo, provavelmente, a fertilização.

3.1.3 Néctar e Osmóforos

A concentração e o volume do néctar nas flores de *S. bahiensis* não podem ser mensurados devido à pequena quantidade produzida por flor (inferior a 1 μ L). No teste de odor as flores de umbu-cajazeira apresentaram um leve odor adocicado.

A presença de osmóforos em *Spondias bahiensis*, tanto em flores hermafroditas quanto em estaminadas, foi observada por toda corola (**Figura 3A**), principalmente nas anteras e estigma (**Figura 3B**), devido à reação e pigmentação pelo corante vermelho neutro. As pétalas também coraram na presença do reagente (**Figura 3C**).

Figura 3. Flores de *Spondias bahiensis* em teste com o vermelho neutro (A-C). Setas indicam partes coradas com o reagente. Barras: 1mm.



Fonte: Acervo Insecta, 2022.

Os osmóforos são glândulas responsáveis pela produção e pela liberação de substâncias voláteis durante a antese (RECH et al., 2014). Essas glândulas já foram descritas em muitas famílias de angiospermas, em Anacardiaceae foi relatada por Tölke (2018).

Estas glândulas promovem um mecanismo de atração de visitantes florais e prováveis polinizadores, principalmente abelhas, mas a fragrância produzida é quase imperceptível ao ser humano (LENZI e ORTH; 2004)

As flores da família Anacardiaceae apresentam perfume adocicado e características típicas de flores polinizadas por abelhas (TÔLKE, 2018). Nadia et al (2007) descreveram que no tratamento com vermelho neutro, em *S. tuberosa*, as anteras ficaram bastante coradas, e o nectário corou levemente em ambos os tipos florais.

Na espécie de Anacardiaceae, *Tapirira guianensis* Aubl., as flores estaminadas possuem maior concentração de osmóforos, apresentando as pétalas coradas mais fortemente de vermelho que as flores pistiladas. Ambas possuem odor adocicado, especialmente forte durante a abertura das flores e perceptível a longas distâncias (FERNANDES; VENTURIERI; JARDIM, 2012).

3.2 Visitantes florais

Os visitantes florais iniciavam as visitas a partir das 6h da manhã, momento em que as flores estão completamente abertas. Alguns visitantes (não abelhas) foram vistos forrageando até às 16h.

Observou-se que o principal mecanismo de atração aos visitantes de *S. bahiensis* foi a oferta de pólen em abundância. As flores de *S. bahiensis* também apresentaram um forte aroma adocicado exalado durante a abertura em massa das flores, o que possivelmente é um atrativo floral. Apesar de a espécie ter como recursos florais o pólen e o néctar, não foi possível coletar o néctar nas condições deste estudo.

Foi contabilizado durante a amostragem, nos quatro dias não consecutivos, um total de 2.955 indivíduos visitando as flores de *S. bahiensis*, sendo todos insetos.

Dentre os visitantes, em nível de ordem e família, verificou-se que, 84,6% representaram a família Apidae, 6,8% Formicidae, 4% Diptera, 3,2% Vespidae, 1,1% Coleoptera e 0,4% Lepidoptera. Em relação à quantidade de espécies distintas, foram observadas 12 espécies da ordem Hymenoptera (4 formigas, 4 abelhas, 4 vespas), seis da ordem Diptera, três da ordem Lepidoptera, e três Coleoptera.

O grupo mais abundante foi a família Apidae (**Figura 4A-I**), sendo que, dentre as espécies de abelhas observadas, totalizou 2.485 indivíduos. O segundo

grupo mais abundante foi a família Formicidae, representada por quatro espécies, totalizando 196 indivíduos.

O grupo Diptera (**Figura 4O-R**) foi representado por seis espécies, totalizando 95 indivíduos. Foram observadas quatro espécies de vespas (**Figura 4M-N**) (Vespidae), sendo a mais abundante a espécie *Polybia* (Myrapetra) *occidentalis* (Olivier, 1792) (**Figura 4M**), porém foi considerada pouco frequente quando comparada aos outros visitantes.

As formigas (**Figura 4S-T**) estavam distribuídas durante um largo intervalo de tempo, sendo possível observá-las em diferentes horários durante o dia.

As moscas e mosquitos (Diptera) visitaram as flores desde o início da manhã, e durante alguns horários à tarde. O mesmo aconteceu para os grupos Vespidae, Lepidoptera e Coleoptera. Esses grupos não apresentaram um padrão de horário, nem alta frequência nas visitas.

Entre as espécies de abelhas, *Trigona* spp., *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponini), *Tetragonisca angustula* (Latreille) (Hymenoptera: Meliponinae) e *Apis mellifera* L. representaram o grupo mais abundante e frequente, e visitavam as flores principalmente no início da manhã e tinham preferência pelas flores em primeiro ou segundo dia de antese que, geralmente, exibiam maior quantidade de grãos de pólen.

As espécies de *Trigona* foram consideradas as mais frequentes nas visitas a *S. bahiensis*, seguidas das abelhas *Nannotrigona testaceicornis* e *Tetragonisca angustula*.

Em relação ao horário e à frequência das visitas, *Trigona* spp e *N. testaceicornis* iniciavam suas visitas a partir das 6h. Entre o intervalo de 6h00 a 8h00 da manhã essas espécies foram as mais frequentes, e a partir das 08h00, ocorreu um decréscimo na frequência das visitas destas. *T. angustula* intensificam suas visitas a partir das 07h e são as mais frequentes a partir das 10h. *T. angustula* permaneceu frequente até às 11h e esporadicamente até o início da tarde. *Apis mellifera* foi observada visitando as flores a partir das 06h da manhã até às 08h, porém, com baixa frequência quando comparada as outras abelhas (**Figura 5**).

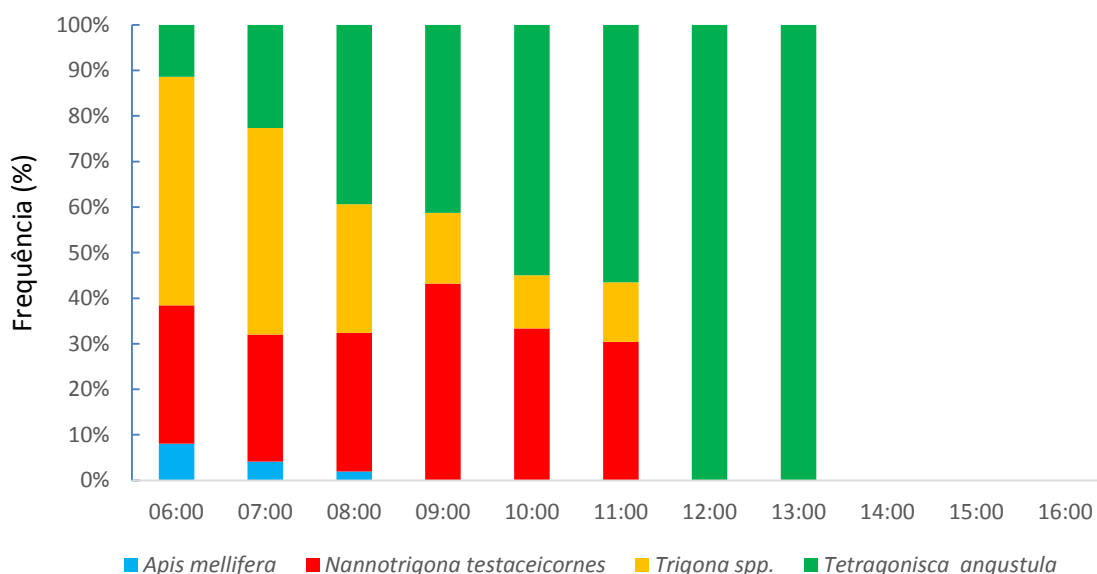
Figura 4. Visitantes florais de *S. bahiensis* na área de estudo localizada no campo experimental da UFRB em Cruz das Almas – Bahia. A-C *Trigona* spp. D-F *Nannotrigona testaceicornis*. G-I *Tetragonisca angustula*. J. Lepidoptera. K-L Coleoptera. M-N Vespidae. O-R Diptera. S-T Formicidae.



Fonte: Acervo Insecta 2022.

As *Trigona* spp. gastavam em média 13,26 segundos em cada flor ($\pm 1,62/n=15$). *T. angustula* visitavam cada flor por no mínimo 11 segundos ($\pm 2,47/n=15$). *N. testaceicornis* ficavam em media 3,2 segundos em cada flor ($\pm 1,08/n=15$). *A. mellifera* gastaram em média 1,7 segundos em cada flor ($\pm 0,7/n=15$).

Figura 5. Frequência (%) de indivíduos por horário entre as espécies de abelhas (Apidae) nas flores de *S. bahiensis* (novembro/2022 a janeiro/2023).



Durante as observações, e dentre os visitantes florais de *S. bahiensis*, foi percebido que as espécies de abelhas podem ser consideradas os polinizadores potenciais, já que, estas visitaram as flores com maior frequência e entravam em contato com os órgãos reprodutivos durante as visitas.

Os estudos permitem inferir que a polinização da *S. bahiensis* é diurna, semelhante à de *Spondias tuberosa* Arruda (umbu) (NADIA et al., 2007, ALMEIDA et al., 2011).

Ao pousarem nas flores de *S. bahiensis*, durante a coleta de pólen, as abelhas contatavam as anteras e o estigma da flor a parte ventral do tórax. Ao caminharem pelas flores o pólen fica aderido ao corpo das abelhas. Segundo Witter et al. (2014) a transferência de pólen é feita através das pernas medianas, com as quais as abelhas raspam o pólen preso nos pelos da parte ventral do corpo e depositam nas corbículas.

O tamanho pequeno, o cheiro forte e adocicado, a grande quantidade de pólen disponível, a corola aberta e rasa, são algumas das características florais que permitem o fácil acesso de visitantes florais as flores das espécies de *Spondias* (NADIA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2012; CARNEIRO; MARTINS, 2012; MITCHELL; DALY, 2015).

Em *S. tuberosa*, os visitantes florais estavam ativos a partir das 5h e visitam a flor durante todo o dia. Foram observados como visitantes florais em *S. tuberosa*, abelhas, borboletas, vespas e moscas, durante todo o estudo (NADIA et al., 2007, ALMEIDA et al., 2011). Os autores ainda destacaram que, tanto as vespas quanto as abelhas, tocavam os órgãos sexuais das flores e realizavam a polinização durante a coleta do recurso floral.

As espécies de abelha consideradas como polinizadores potenciais em *S. tuberosa* foram *A. mellifera*, *Trigona spinipes* (OLIVEIRA et al., 2012; NADIA et al., 2007) e *Scaptotrigona postica flavisetis* Moure (NADIA et al., 2007).

Em estudo com *S. purpurea*, as flores foram visitadas principalmente por três espécies de abelhas (*A. mellifera*, *Trigona nigra*, *Trigona fulviventris*) (CRISTOBAL-PEREZ et al., 2021).

OLIVEIRA et al. (2020) relataram que as abelhas foram os principais visitantes florais e potenciais polinizadores de *Spondias mombin* L. (Cajá), sendo vistas apenas em coleta de pólen, possivelmente porque é um recurso muito mais abundante do que o néctar.

Em *S. purpurea* L. foram observados um total de 1.171 insetos visitando as flores, das quais três espécies são de abelhas (*A. mellifera*, *T. nigra* e *T. fulviventris*), três de vespas (*Polistes* spp. e *Mischocyttarus* sp.) e duas de moscas (*Tachinidae* sp. e *Syrphidae* sp.) (CRISTOBAL-PEREZ et al., 2021). Os autores ainda inferiram que as abelhas sem ferrão, as vespas e as moscas são os principais polinizadores da espécie.

A espécie *Spondias macrocarpa* Engl. (cajá-redondo), além das abelhas e moscas também foi observado como visitantes florais besouros não sirfídeos. As espécies que mais visitaram as flores foram *T. spinipes* (34,64%), *Tetragonisca angustula* (28,39%) e *A. mellifera* (13,54%) (TAVARES et al., 2020). Os autores ainda evidenciaram que o pequeno tamanho das flores permite que os visitantes florais toquem os órgãos sexuais, e por isso, podem ser considerados possíveis polinizadores.

As abelhas são o grupo de insetos mais predominante, na visitação e/ou polinização das diversas espécies de *Spondias*, incluindo a *S. bahiensis*, as quais sobrevoavam a flor aberta e pousam na antera onde estavam localizados os estames, saindo completamente cheias de grão de pólen. A presença de abelhas em áreas próximas ao plantio da cultura potencializa a produção e qualidade do fruto, podendo ser uma estratégia de manejo para a cultura.

Assim, os visitantes florais, principalmente as abelhas, são mais abundantes e frequentes nas primeiras horas da manhã, justamente período em que há grande quantidade de pólen disponível. Isto sugere que a polinização pode ser mais eficiente nas primeiras horas da manhã e nos primeiros dias de abertura da flor, justamente porque, há maior disponibilidade de recurso floral e maior receptividade do estigma.

4. CONCLUSÕES

Os visitantes florais de *S. bahiensis*, considerando as condições fenológicas e climáticas da área do presente estudo, foram insetos generalistas, dos quais as abelhas, especialmente, *Trigona* spp., *Nannotrigona testaceicornes* e *Tetragonisca angustula*, foram os visitantes mais frequentes e abundantes. Por apresentarem características de forrageamento, como contato com a flor durante a coleta do recurso, podem ser consideradas os potenciais polinizadores de *S. bahiensis* na região do estudo.

A liberação dos grãos de pólen iniciou logo após a antese e o pico da liberação do pólen ocorrendo às 06:00h da manhã, momento em que há uma alta frequência de abelhas visitando as flores. Esses fatores acontecendo concomitantemente podem explicar o decréscimo da quantidade de grãos de pólen nas flores de *S. bahiensis* nos primeiros horários da manhã.

Os grãos de pólen apresentam altas taxas de viabilidade nos dois primeiros dias após a antese nas flores estaminadas e nos quatro primeiros dias das flores hermafroditas.

O estigma das flores de *S. bahiensis* é receptivo desde a antese, e permanece até o quinto dia da antese. Contudo, o período em que o estigma apresentou resposta positiva muito forte foi nos dois primeiros dias da antese da

flor. Esses fatores sugerem que, a polinização pode ser mais eficiente nas primeiras horas da manhã e nos primeiros dias de abertura da flor.

A presença de osmóforos na espécie foi observada por toda corola, principalmente nas anteras e estigma.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.L.S., ALBUQUERQUE, U.P. AND CASTRO, C.C. Reproductive biology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), an endemic fructiferous species of the caatinga (dry forest), under different management conditions in northeastern Brazil **Journal of Arid Environments**, v.75, n.4, p. 330-337, 2011.

ARAÚJO R. R., SANTOS, E. D., FARIAS, D. B. dos S., LEMOS, E. E.P de, Alves, R. E. *Spondias bahiensis*: Uumbu-cajá, in: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial, plantas para o futuro: Região Nordeste. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p.279-286, 2018.

AULER, N.M.F. BATTISTIN, A.; REIS, M. S. Número de cromossomos, microsporogênese e viabilidade do pólen em populações de carqueja [*Baccharis trimera* (Less.) DC.] do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.8, n.2, p.55-63, 2006.

BRITO, V. L., WEYNANS, K., SAZIMA, M., LUNAU, K. Trees as huge flowers and flowers as oversized floral guides: the role of floral color change and retention of old flowers in *Tibouchina pulchra*. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 362, 2015.

CARNEIRO, L. T.; MARTINS, C. F. Africanized honey bees pollinate and preempt the pollen of *Spondias mombin* (Anacardiaceae) flowers. **Apidologie**, v.43, n.4, 474-486, 2012.

COSTANZA, R.; DE GROOT, R., BRAAT, L., KUBISZEWSKI, I., FIORAMONTI, L., SUTTON, P; FABER , S.; GRASSO, M . Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem services**, v. 28, p. 1-16, 2017.

CRISTÓBAL-PÉREZ, E. J., FUCHS, E. J., MARTÉN-RODRÍGUEZ, S., QUESADA, M. Habitat fragmentation negatively affects effective gene flow via pollen, and male and female fitness in the dioecious tree, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). **Biological Conservation**, v.256, n.109007, 2021.

CRUDEN, R.W. Pollen-ovule ratio: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. **Evolution**, v.222, p.143-165, 2000.

DAFNI, A. **Pollination ecology: a practical approach** (the practical approach series). New York: Oxford University Press, p.250, 1992.

DAFNI, A.; MAUÉS, M. M.A rapid and simple procedure to determine stigma receptivity. **Sexual Plant Reproduction**, v. 11, p. 177-180, 1998.

DELAPLANE, K. S.; MAYER, D. F. Crop pollination by bees. New York: **CABI Publishing**, p.364, 2000.

FAO- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. FAO. FAOSTAT. **Divisão de estatística**, 2023. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.Ac>>. Acesso em: 16. Mar. 2023.

FERNANDES, M.M. VENTURIERI, G.C. JARDIM, M. A. G. Biologia, visitantes florais e potencial melífero de Tapirira guianensis (Anacardiaceae) na Amazônia Oriental. **Revista Ciências Agrárias**, v.55, n.3, p.167-175, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FRANKIE, G.W.; HARBER, W.A.; OPLER, P.A.; BAWA, K.S. Characteristics and organization of the large bee pollination systems in the Costa Rican dry forest. In: C.E. Jones & R.J. Little (eds.). **Handbook of experimental pollination biology**. New York: **Van Nostrand Reinhold Company Inc.** p. 411-447, 1983.

FREITAS, B. M.; NUNES-SILVA, P. Polinização agrícola e sua importância no Brasil. IN: IMPERATRIZ-FONSECA, V.; CANHOS, D. A. L.; ALVES, D. A.; SARAIVA, A. M. **Polinizadores no Brasil - contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo: EDUSP. p. 103-118, 2012.

FREITAS, B. M., SILVA, C. I. da. O papel dos polinizadores na produção agrícola no Brasil. In **Agricultura e Polinizadores**. Associação Brasileira de Estudos das Abelhas - A.B.E.L.H.A. São Paulo, p. 71, 2015. Disponível em: <<https://www.abelha.org.br/publicacoes/ebooks/Agricultura-e-Polinizacao.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

GARIBALDI, L. A.; CARVALHEIRO, L. G.; VAISSIERE, B. E.; GEMMILL-HERREN, B.; HIPOLITO, J.; FREITAS, B. M.; et al. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. **Science**, v. 351, p. 388-391, 2016.

GARIBALDI, L. A.; DONDO, M.; FREITAS, B. M.; HIPÓLITO, J.; PIRES, C. S. S.; SALES, V.; VIANA, B.; VILAR, M. B. **Aplicações do protocolo de avaliação socioeconômica de práticas amigáveis aos polinizadores no Brasil**. Rio de Janeiro: Funbio, 2015.

GIANNINI, T. C.; CORDEIRO, G. D.; FREITAS, B. M.; SARAIVA, A. M.; IMPERATRIZFONSECA, V. L. The crop dependence for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 3, p. 849- 857, 2015.

HESSE, M. Pollen wall stratification and pollination. **Plant Systematics and Evolution**, v.222, n. 1-4, p. 1-17, 2000.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. et al. Polinizadores do Brasil: Contribuição e perspectivas para biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais. Denise de Araújo Alves (Ed. Associada). Instituto de estudos Avançados da Universidade de São Paulo. 2012.

IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; JOLY, C.A., **Avaliação Polinizadores, Polinização e Produção de Alimentos da Plataforma Intergovernamental de Biodiversidade e Serviços de Ecossistemas (IPBES)**. In: Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Distrito Federal, p.124, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados meteorológicos do posto Cruz das Almas - BA (1980-2012)** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 13 nov. 2022.

KEARNS, C.A.; INOUE, D.W. **Techniques for pollination biologists**. Niwot: University Press of Colorado, 1993.

KLEIN, A. M.; FREITAS, B.M.; BOMFIM, I.G.A.; BOREUX, V.; FORNOFF, F.; OLIVEIRA, M.O. A polinização agrícola por insetos no Brasil. Um guia para fazendeiros, agricultores, extensionistas, políticos e conservacionistas. **Nature Conservation and Landscape Ecology**. Albert-Ludwigs University Freiburg, Freiburg, Germany, p.149, 2020.

KUNZE, J.; GUMBERT, A. The combined effect of colour and odor on flower choice behavior of bumble bees in flower mimicry systems. **Behavioral Ecology**, v.12, p. 447-456. 2001.

LENZI, M.; ORTH, A.I. Fenologia reprodutiva, morfologia e biologia floral de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), em restinga da ilha de Santa Catarina, Brasil. **Biotemas** v.17, p.67-89, 2004.

MAKINO, T. T., OHASHI, K. Honest signals to maintain a long-lasting relationship: floral colour change prevents plant-level avoidance by experienced pollinators. **Functional Ecology**, v.31, p. 831-837, 2016.

MAUÉS, M. M.; COUTURIER, G.. Biologia floral e fenologia reprodutiva do camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh, Myrtaceae) no Estado Pará, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 25, n. 4, p. 441–448, dez. 2002.

MITCHELL, J. D., DALY, D. C. A revision of *Spondias* L. (Anacardiaceae) in the Neotropics. **Phytokeys**, v.55, p.1-92, 2015.

NADIA, T. de L.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Polinização de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) e análise da partilha de polinizadores com *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), espécies frutíferas e endêmicas da Caatinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 89-100, 2007.

NISHIHARA, M., NAKATUSKA, T. Genetic engineering of novel flower colors in floricultural plants: Recent advances via transgenic approaches. In: S. M. Jain & S. J. Ochatt (Eds.). **Protocols for in vitro propagation of ornamental plants**. Humana Press, Totowa, New Jersey. pp. 325–347, 2010.

OHASHI, K., MAKINO, T. T., ARIKAWA, K. Floral colour change in the eyes of pollinators: testing possible constraints and correlated evolution. **Functional Ecology**, v. 29, p. 1144–1155. 2015.

OLIVEIRA, M. O. DE. BOMFIM, I. G. A., CAVALCANTE, M. C., CONTRERA, F. A. L., DE SOUZA, F. X., FREITAS, B. M. Pollinating potential of bee floral visitors of *Spondias mombin* (Anacardiaceae) cultivated in northeastern Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020.

OLIVEIRA, M. O. de; SOUZA, F. X.de; Freitas, B. M. Bee floral visitors, pollination efficiency and pollination requirements in *Spondias mombin*. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.10, n.3, p.277-284, 2012.

OLLERTON, J. WINFREE, R. TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, n. 120, p. 321-326. 2011.

PYKE, G. H. Plant–pollinator co-evolution: It's time to reconnect with Optimal Foraging Theory and Evolutionarily Stable Strategies. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 19, p. 70-76, 2016.

RECH, A.R.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA, P.E.; MACHADO, I. C. **Biologia da Polinização**. Rio de Janeiro: Projeto Cultural. 524 p, 2014.

REZENDE, J. O. **Solos coesos de tabuleiros costeiros:limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, p.117, 2000.

RICKETTS, T., REGETZ, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN, C.; BOGDANSKI, A.; GEMMIL-HERREN, B.; GREENLEAF, S.S.; KLEIN, A.M.; MAYFIELD, M.M.; MORANDIN, L.A.; OCHIENG, A.; VIANA, B.F. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology Letters**, v.11 p.499-515, 2008.

SOUSA, M.M.; PEREIRA, T.N.S.; MARTINS, E.R. Microsporogênese e Microgametogênese Associadas ao tamanho do botão floral, antera e viabilidade polínica em maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener). **Ciência Agrotécnica**, v.26, n.6, p.1209-17, 2002.

SOUZA, F.X.; PORTO FILHO, F. Q.; MENDES, N.V.B. **Umbu-cajazeira: descrição e técnicas de cultivo**. Mossoró: EdUFERSA, p.103, 2020.

SUZUKI, M. F., OHASHI, K. How does a floral colour-changing species differ from its non- colour-changing congener? –a comparison of trait combinations and their effects on pollination. **Functional Ecology**, v.28, n.3, p.549–560, 2014.

TAVARES, M.C., TÖLKE, E.D., NUNES, C.E.P., CARMELLO-GUERREIRO, S.M. Morfo-anatomia floral e ecologia reprodutiva de *Spondias macrocarpa* Engl. (Anacardiaceae), uma árvore neotropical andromonóica vulnerável. **Flora**, v.273, n. 151707, 2020.

TÖLKE, E. D., DEMARCO, D., CARMELLO-GUERREIRO, S. M., & BACHELIER, J. B. Flower structure and development of *Spondias tuberosa* and *Tapirira guianensis* (Spondioideae): Implications for the evolution of the unisexual flowers and pseudomonomy in Anacardiaceae. **International Journal of Plant Sciences**, v.182, n.9, p.747-762, 2021.

VOGEL, S. **The role of scent glands in pollination**. Smithsonian Institution Libraries and The National Science Foundation, Washington, D. C. 1990.

WITTER, S.; NUNES-SILVA, P.; BLOCHTEIN, B.; LISBOA, B.B.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **As abelhas e a agricultura**. Porto Alegre: EDIPUCRS, p. 143, 2014.

WITTMANN, D. Conservation of pollinators and lanscape managent. In: IV ENCONTRO SOBRE ABELHAS, Ribeirão Preto. Anais, Ribeirão Preto: USP, SP, p.144, 2000.

WRATTEN, S. D.; GILLESPIE, M.; DECOURTYE, A.; MADER, E.; DESNEUX, N. Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 159, p. 112-122, 2012.

ZEISLER, M. Über die Abgrenzung des eigentlichen Narbenfläche mit Hilfe von Reaktionen. Beihefte zum **Botanischen Centralblatt**, v. 58, n. 1, p. 308-318, 1933.

ZORTÉA, K. É. M., ROSSI, A. A. B., BISPO, R. B., ROCHA, V. D. D. HOOPERHEIDE, E. S. S. Meiotic behavior and pollen viability of *Spondias mombin* L.: native fruit species of the Amazon. **Floresta e Ambiente**, v. 26, 2019.

ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G.. Agronomia Avanços e perspectivas. **Nova Xavantina, Mt: Pantanal Editora**, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas espécies de *Spondias* apresentam importância econômica, principalmente por seus frutos. Os frutos de umbu-cajá têm sido muito apreciados e utilizados como alimento principalmente nas regiões de ocorrência. Além disso, também vêm despertando o interesse da indústria, na produção de polpas, bebidas, geleias.

Apesar do interesse econômico, a espécie não tem cultivares estabelecidas e/ou sugeridas para cultivo comercial, sendo a exploração de seus frutos ocorrendo em extrativismo através de pequenos e médios produtores rurais.

Até 2015, a espécie *S. bahiensis* era reconhecida como híbrida. Após pesquisas, a *S. bahiensis* foi classificada como espécie natural, e desde então, trabalhos relacionados a marcadores genéticos e moleculares da espécie estão sendo realizados. Porém, pesquisas relacionadas à biologia floral e polinizadores efetivos de *S. bahiensis*, principalmente na região do Recôncavo baiano, ainda não foram realizadas.

Sendo assim, o conhecimento adquirido com a pesquisa da biologia floral e reprodutiva e os potenciais polinizadores da *S. bahiensis* podem ser aplicadas no planejamento e implementação de cultivos comerciais da espécie, auxilia nas pesquisas de melhoramento genético e conservação das espécies, e no aprimoramento do manejo da cultura.

O estabelecimento de novas cultivares, através do melhoramento genético, pode auxiliar na produção em larga escala em outras regiões do Brasil, não somente no semiárido, sendo possível atender regiões mais chuvosas ou mais secas, já que a umbu cajazeira apresenta boa adaptação a diferentes ambientes.

As informações suscitadas com o presente estudo permitem inferir, a época de floração, o momento da antese, os melhores horários para a polinização, levando em consideração a viabilidade do pólen e a receptividade do estigma. Igualmente as informações referentes aos visitantes florais permitir reconhecer os potenciais polinizadores de *S. bahiensis*.

O levantamento dos visitantes florais realizado por esse estudo além de permitir um amplo conhecimento da diversidade dos polinizadores e das relações com a comunidade vegetal é de fundamental importância já que a polinização é

serviço ecossistêmico essencial para a propagação e manutenção da biodiversidade das espécies vegetais.

ANEXO

Figura 1. Anexo. Plantas de *Spondias bahiensis* em florescimento (A-D) e em frutificação (E- F). Fonte: Acervo Insecta, 2021-2022

