



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA – UAST
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

MARYNARA EFIGÊNIA MARINHO DUARTE

**ESTUDO DA BIOLOGIA FLORAL E REPRODUTIVA DOS GÊNEROS
OPUNTIA E NOPALEA: SUPORTE AO PROGRAMA DE
MELHORAMENTO GENÉTICO**

SERRA TALHADA, PERNAMBUCO

OUTUBRO DE 2022

MARYNARA EFIGÊNIA MARINHO DUARTE

**ESTUDO DA BIOLOGIA FLORAL E REPRODUTIVA DOS GÊNEROS
OPUNTIA E NOPALEA: SUPORTE AO PROGRAMA DE
MELHORAMENTO GENÉTICO**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, sob a orientação do Prof. Dr. José Geraldo Eugênio da França, como parte dos requisitos para a obtenção do título de graduada.

SERRA TALHADA, PERNAMBUCO

OUTUBRO DE 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- D812e Duarte, Marynara Efigênia Marinho
Estudo da biologia floral e reprodutiva dos gêneros Opuntia e Nopalea: Suporte ao programa de
melhoramento genético / Marynara Efigênia Marinho Duarte. - 2022.
44 f. : il.
- Orientador: Jose Geraldo Eugenio de Franca.
Inclui referências e apêndice(s).
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Bacharelado em Ciências Biológicas, Serra Talhada, 2022.
1. Palma forrageira. 2. Biologia floral. 3. Biologia reprodutiva . 4. Fenologia. I. Franca, Jose Geraldo
Eugenio de, orient. II. Título

CDD 574

MARYNARA EFIGÊNIA MARINHO DUARTE

Monografia apresentada à banca examinadora em 13 de outubro de 2022

Prof. Dr. José Geraldo Eugênio da França
(UFRPE-UAST)

Membro Titular / Orientador

Prof. Dr. Josimar Bento Simplicio
(UFRPE-UAST)

Membro Titular

Engenheiro Agrônomo, MSc Djalma Cordeiro dos Santos
(Instituto Agrônômico de Pernambuco)

Membro Titular

DEDICATÓRIA

Aos meu pais, pelo amor.

A mim, por todo o meu esforço e luta para concluir esse ciclo em minha vida.

O que a literatura faz é o mesmo que acender um fósforo no campo no meio da noite. O fósforo não ilumina quase nada, mas nos permite ver quanta escuridão existe ao redor.

William Faulkner, citado por Javier Marías

AGRADECIMENTOS

A minha família, por ser meu alicerce. Em especial, meus pais, José Tarcísio e Cirleide, por acreditarem em mim e me dar todo o apoio, incentivo e força necessária para a realização dessa jornada. As minhas irmãs, Cyndi e Amanda, por todo o suporte emocional, sendo minhas confidentes e me proporcionando momentos que ajudaram a aliviar os dias difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Geraldo Eugênio, por ter me dado a oportunidade de trabalharmos juntos e por toda assistência e incentivo durante o processo da monografia.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco, em particular a Estação Experimental de Arcoverde, por ter aberto as portas para a realização dessa pesquisa. Ao meu supervisor, Djalma Cordeiro, pela disponibilidade e ensinamentos durante meu estágio. Agradeço também aos funcionários do IPA, especialmente Nôga e Valdeir por toda a ajuda, boa vontade e estimada amizade. A Dona Iracy e Mabel pelo amparo durante minha morada na estação.

Aos amigos que fiz em Serra Talhada, com os quais vivi experiências que me fizeram crescer e, principalmente, me divertir durante essa jornada, tornando tudo mais leve. Especialmente meus amigos de turma que, além de tudo isso, dividiram comigo os prazeres e as agruras da graduação. Agradeço também ao meu amigo Clóvis que esteve comigo ao longo dessa trajetória e me ajudou imensamente nos momentos finais com sua companhia, apoio e café.

Aos professores todo o meu respeito pela profissão e gratidão por todos os ensinamentos, paciência e incentivo.

Juntamente com eles, agradeço a todas as pessoas queridas que cruzaram o meu caminho. As que continuam fazendo parte e as que, por desventuras da vida, deixaram de fazer.

Encerro esse ciclo com o coração apertado, mas cheio de gratidão. Cada pequeno gesto de bondade me ajudou a chegar até aqui.

A todos com quem compartilhei um pouco dessa jornada, agradeço.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1. Variedades de palma forrageira localizadas na Estação Experimental de Arcoverde – IPA.. | 15 |
| Figura 2. Flor do gênero <i>Opuntia</i> , variedade IPA - F8..... | 16 |
| Figura 3. Flor do gênero <i>Nopalea</i> . IPA - Variedade F21 melhorada..... | 17 |
| Figura 4. Botões de <i>Opuntia</i> (variedade: IPA - F8)em diferentes estádios de desenvolvimento..... | 21 |
| Figura 5. (A) Depósito dos grãos de pólen na lâmina; (B) Adição da solução de coloração (Reativo Alexander) sob os grãos de pólen | 23 |
| Figura 6. (A) Adição da solução de germinação na placa de Petri; (B) Introdução dos grãos de pólen no meio de cultura; (C) grãos de pólen incubados no meio de cultura | 24 |
| Figura 7. Percentual de botões florais abortados nas variedades Miúda, IPA - F21 melhorada e IPA - F8..... | 25 |
| Figura 8. Período de ocorrência de abortamento dos botões florais da variedade IPA - F8 ao longo do seu ciclo..... | 26 |
| Figura 9. Período de ocorrência de abortamento dos botões florais da variedade Miúda ao longo do seu ciclo..... | 26 |
| Figura 10. Período de ocorrência de abortamento dos botões florais da variedade IPA - F21 melhorada ao longo do seu ciclo..... | 27 |
| Figura 11. Frutos em processo de abortamento. Variedades: (A) Miúda; (B) IPA - F21 melhorada; (C) IPA - F8..... | 27 |
| Figura 12. Formação de bolhas de ar nos estigmas imersos em peróxido de hidrogênio a 3% como reação a presença da enzima peroxidase..... | 30 |
| Figura 13. Percentual que indica a viabilidade dos grãos de pólen das variedades Miúda, IPA - F21 melhorada e IPA - F8, a partir do teste de coloração utilizando a solução de Reativo Alexander..... | 31 |
| Figura 14. Grãos de pólen após imersão na solução de coloração (Reativo Alexander). (A) Grão inviável; (B) grãos viáveis..... | 31 |
| Figura 15. Percentual de germinação <i>in vitro</i> dos grãos de pólen das variedades Miúda, IPA - F21 melhorada e IPA - F8..... | 32 |
| Figura 16. (A) Germinação dos grãos de pólen em meio de cultura; (B) Ampliação do grão de pólen germinado com tubo polínico bem desenvolvido..... | 33 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 2.1. O semiárido..... | 11 |
| 2.2. A palma forrageira | 12 |
| 2.3. <i>Opuntia</i> E <i>Nopalea</i> : MORFOLOGIA E ASPECTOS GERAIS | 14 |
| 2.4. Biologia floral..... | 15 |
| 2.5. Abortamento de frutos | 17 |
| 2.6. Viabilidade do grão de pólen e receptividade do estigma | 18 |
| 3. OBJETIVOS | 20 |
| 3.1. Geral | 20 |
| 3.2. Específicos | 20 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 21 |
| 4.1. Avaliação da taxa de abortamento | 21 |
| 4.2. Contagem das sementes | 22 |
| 4.3. Receptividade do estigma | 22 |
| 4.4. Viabilidade do grão de pólen | 22 |
| 4.4.1. Teste de coloração | 22 |
| 4.4.2. Teste de germinação <i>in vitro</i> | 23 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 6. CONCLUSÕES | 36 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 37 |

RESUMO

A palma forrageira (Cactaceae), possui adaptações fisiológicas que a torna tolerante à alta temperatura e baixa disponibilidade hídrica, representando uma importante fonte de alimento e água em regiões secas, a exemplo do semiárido. Diante da sua relevância, obter conhecimento sobre sua biologia floral é fundamental para entender o funcionamento do seu sistema reprodutivo e conhecer os processos envolvidos no desenvolvimento do seu ciclo. Essas informações são essenciais, principalmente para áreas como o melhoramento genético que utilizam técnicas como a hibridação, realizadas através do cruzamento interespecífico objetivando a seleção genótipos potencialmente úteis para a seleção de características de interesse agrônomo. Nesse contexto, esse estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da estrutura floral das espécies de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* e sua relação com a fecundação dos ovários. Foram analisados 3 acessos de palma em condições de sequeiro, sendo eles: Miúda (IPA 100004) e F21 melhorada (IPA 200021) (*Nopalea cochenillifera*) e F8 (IPA-200008) (*Opuntia atropes*, Rose). Nessa pesquisa foram avaliadas as taxas de abortamento dos frutos, a receptividade dos estigmas e a viabilidade dos grãos de pólen, realizada por meio de testes de coloração e germinação *in vitro*. O resultado obtido na taxa de abortamento dos botões florais revelou um índice de 84,4% na variedade Miúda, 98% na IPA - F21 melhorada e 100% na IPA - F8. A receptividade do estigma foi de 100% nos 3 acessos avaliados. Na verificação da viabilidade polínica, o teste de coloração expressou uma média de 64,4% de grãos viáveis em Miúda, 84,6% na IPA - F21 melhorada e 97% na IPA - F8. Já na germinação *in vitro* foi observado uma média de 5% na IPA - F21 melhorada, 21% na Miúda e 36% na IPA - F8, demonstrando um poder germinativo baixo. Esses resultados indicam que, no caso do abortamento dos frutos, o insucesso da fecundação pode estar relacionado a baixa capacidade de desenvolver o tubo polínico. Entretanto, devido ao caimento precoce dos botões florais, novos estudos e pesquisas se fazem necessários para a identificação de outros possíveis fatores adversos.

Palavras-chave: Palma forrageira, Biologia floral, Biologia reprodutiva, Fenologia.

ABSTRACT

The cactus pear forage (Cactaceae) has physiological adaptations that make it tolerant to high temperature and low water availability, representing an important source of food and water in dry regions, such as the semi-arid region. Given its relevance, gaining knowledge about its floral biology is fundamental to understand the functioning of your reproductive system and to know the processes involved in the development of its cycle. This information is essential, especially for areas such as genetic improvement that use techniques such as hybridization, performed through interspecific crossing aiming at the selection of genotypes potentially useful for the selection of characteristics of agronomic interest. In this context, this study aimed to evaluate the development of the floral structure of forage palm species of the genera *Opuntia* and *Nopalea* and its relationship with the fertilization of the ovaries. Three palm accesses were analyzed under conditions without irrigation, which were: Miúda (IPA 100004) and F21 melhorada (IPA 200021) (*Nopalea cochenillifera*) and F8 (IPA-200008) (*Opuntia atropes*, Rose), aiming to expand the knowledge about its floral reproduction, in order to support breeding programs of this cacti. For this, fruit abortion rates, stigma receptivity experiments and pollen grain viability analysis were evaluated by means of staining and in vitro germination tests. The result obtained in the abortion rate of floral buds revealed an index of 84.4% in the cultivar IPA - Miuda, 98% in improved IPA - F21 melhorada and 100% in IPA - F8. The receptivity of the stigma was 100% in the 3 accesses evaluated. In the verification of pollen viability, the staining test expressed an average of 64.4% of viable grains in Miúda, 84.6% in IPA - F21 melhorada and 97% in IPA - F8. In vitro germination, an average of 5% was observed in IPA - F21 melhorada, 21% in Miúda and 36% in IPA - F8, demonstrating a significantly low germination power. These results indicate that, in the case of fruit abortion, the failure of fertilization may be related to low ability to develop the polynic tube. However, due to the early trim of floral buds, further studies and research are necessary to identify other possible adverse factors.

Key-words: Cactus pricly-pear spineless, Floral biology, Reproductive biology, Phenology.

1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira é um complexo de espécies vegetais pertencente à família das cactáceas. Dentre as cerca de 2000 espécies e 178 gêneros que compõem esse grupo, os gêneros *Opuntia* e *Nopalea* apresentam destaque, pois ocupam o lugar de maior relevância na sua capacidade de produção de forragem (MARQUES *et al.*, 2017). Originária do México, seu potencial fez com que sua cultura se difundisse ao redor do mundo (DONATO, 2020).

Por suas características de interesse, as espécies mais relevantes são a *Opuntia ficus-indica* Mill., com suas cultivares conhecidas popularmente como gigante e/ou redonda e a *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck, chamada de palma doce ou Miúda (PINTO, 2015). Essas duas espécies, contemplando as variedades Miúda e gigante, entre outras, são as mais difundidas devido à melhor palatabilidade e maior produção (DONATO, 2020).

Além disso, por serem resistentes a ambientes com temperaturas elevadas e disponibilidade hídrica baixa, são consideradas espécies estratégicas para a pecuária em regiões semiáridas por se mostrarem como alternativa à alimentação animal nos períodos de seca, no qual há escassez de outros alimentos e de água (ALMEIDA, 2011).

Apesar de suas qualidades, há alguns fatores a serem melhorados visando aumentar a produção e facilitar condições de manejo no plantio e colheita (ROCHA, 2012). Para a obtenção de características desejadas, são empregadas técnicas de melhoramento genético. A hibridação é uma delas (FERREIRA, 2006).

Para que técnicas como essa sejam realizadas, faz-se necessário compreender a biologia floral e reprodutiva das variedades a serem trabalhadas. Nesse contexto, é importante compreender o ciclo da formação do fruto, pois é dele que saem as sementes. Estruturas fundamentais para a seleção de novas cultivares.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE SEMIÁRIDO

A região semiárida brasileira é composta por cerca de 1.262 municípios e representa cerca de 12% de todo o território nacional. Englobando todos os estados do Nordeste e ainda o norte de Minas Gerais e Espírito Santo, possui aproximadamente 28 milhões de habitantes (INSA). Conhecida pelo característico clima quente e seco, apresenta temperatura média anual entre 23° a 27°, insolação média de 2800 h.ano⁻¹ e umidade relativa do ar média em torno de 50% (SILVA *et al.*, 2010).

Apresenta índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e precipitação pluviométrica inferior a 800mm por ano, distribuídos de forma irregular no tempo e espaço (SUDENE). Apesar do semiárido brasileiro ser o mais chuvoso do mundo, seu período de estiagem varia em média de 7 a 9 meses por ano. A junção de características como a baixa profundidade do solo e a taxa de evaporação média anual (2.500 mm) maior que a de precipitação, fazem com que essa região tenha um alto déficit hídrico (ZANELLA, 2014).

O bioma predominante nessa região é a Caatinga (INSA). Com sua vegetação adaptada a essas condições climáticas, no período de seca, muitas espécies costumam perder sua folhagem no intuito de reduzir a perda de água (LEAL, 2005). Por serem xerófilas, apresentam maior tolerância às irregularidades pluviométricas (SILVA *et al.*, 2014), porém o mesmo não acontece com culturas convencionais, pois estas demandam uma regularidade hídrica durante seu ciclo.

De acordo com o IBGE (2014), uma das principais atividades desenvolvidas no semiárido é a pecuária, com destaque para bovinos, ovinos e caprinos. Um dos principais desafios para os pecuaristas dessa região é a falta de alimento para fornecer às suas criações durante os períodos de seca.

Na estação chuvosa, esses animais costumam ser criados à solta, se alimentando de plantas nativas, mas durante os meses de estiagem os criadores necessitam recorrer à compra de rações industriais, tornando o sistema de produção mais oneroso. Uma das alternativas de mitigação para essa situação é o cultivo da palma forrageira,

planta que além de se adequar às condições do clima semiárido, é comprovadamente eficiente como complemento alimentar e hídrico (PAIXÃO, 2012).

2.2 CARACTERÍSTICAS DA PALMA FORRAGEIRA

As espécies de palma forrageira são angiospermas pertencente à classe Liliatae; Magnoliopsida; família Cactaceae; subfamília Opuntioideae; gênero *Opuntia*; subgênero *Opuntia* e gênero *Nopalea* (BRAVO, 1978). Elas fazem parte de um conjunto de aproximadamente 2.000 espécies e 178 gêneros de plantas que compõem a família das cactáceas (ARÉCHIGA & YANES, 1999), (DONATO, 2020).

Com provável origem no México, possui distribuição geográfica abrangente, sendo cultivada nas regiões áridas e semiáridas ao redor do mundo (GOIS, 2013). Presente em quase todos os continentes, apresenta um maior destaque em relação às outras espécies dessa família, sendo a cactácea mais disseminada no continente americano (LEMOS, 2016), devido a relevância que o seu plantio traz nos locais onde é cultivada.

O Brasil ocupa uma posição importante no cultivo dessa forragem, sendo o país que possui a maior área plantada dessa cactácea para alimentação animal no mundo (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2013

De acordo com DOMINGUES (1963), a palma foi introduzida no Brasil inicialmente com o intuito de promover a criação da cochonilha do carmim (*Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera, Dactylopiidae), objetivando a produção de corante, produto do seu metabolismo e cuja cor dá nome a essa espécie.

Com a frustração do propósito inicial, o cultivo da palma passou a ser voltado para fins ornamentais. A consolidação do seu cultivo no país se deu através da sua utilização como forragem (SANTOS *et al.*, 2006). Segundo MENEZES (2005), ao ser observado o consumo dessas plantas por bovinos e com a chegada da seca de 1932, que assolou o Nordeste em sede e fome, a palma se firmou como alternativa alimentar para esses e outros animais. Notada como uma possível forma de mitigar os impactos da falta de alimento e água, o plantio dessa cultura foi incentivado através de programas do governo (ROCHA, 2012).

Considerando a sua boa adaptação a um clima que leva, na maior parte do ano, a escassez de recursos alimentícios advindos da baixa capacidade de desenvolvimento de outras forragens nativas (SILVA *et al.*, 2014), o ponto crucial para sua propagação se deu justamente nos períodos de seca, onde a utilização da palma se mostrou uma alternativa boa e viável para constituir a base alimentar animal (FROTA *et al.*, 2015).

Classificada como uma planta de metabolismo CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), é bem adaptada às condições do semiárido, pois dispõe de mecanismos fisiológicos ajustados para a redução de perda de água nas condições desses ambientes (MARQUES *et al.*, 2017).

Estas espécies de cactáceas são compostas de cerca de 90% de água, apresenta satisfatório valor energético, alto teor de carboidratos não fibrosos e minerais como o Ca, K e Mg (SANTOS, 2020). Seu cultivo é, sem dúvida, um elemento fundamental para a sustentabilidade do sistema agropecuário no Nordeste (ROCHA, 2012). Esta característica proporciona o sustento alimentar tanto para próprios animais que não ficam à mercê da fome nos momentos da indisponibilidade de outras forragens, quanto para os produtores que vivem da criação e produção de leite, tirando dessas atividades seu sustento.

Com base na importância que a palma representa para essa região, o aprimoramento de técnicas de cultivo e realização de programas de melhoramento genético, se mostram de grande importância para aperfeiçoar e selecionar características que proporcionem a obtenção de plantas com maior resistência a pragas e patologias, maior produtividade, bem como produzir variedades com características que reduzam o trabalho pós-colheita, incluindo aquelas com boa capacidade de produção em áreas desfavoráveis (FERREIRA, 2006).

2.3 *Opuntia* e *Nopalea*: MORFOLOGIA E ASPECTOS GERAIS

A palma forrageira possui características morfológicas semelhantes entre suas espécies. De hábito arbustivo, são suculentas e apresentam estrutura caulinar ramificada, podem medir entre 1,5m e 3m (PALMA, 2005), coloração verde, que varia entre tons mais claros ou mais escuros, podendo também apresentar uma tonalidade acinzentada na sua base.

Quanto a sua estrutura, apresenta pequenas “folhas” rudimentares que vão sendo perdidas ao longo do tempo em que os cladódios vão crescendo. Cladódios, também conhecidos como raquete, são segmentos achatados e divididos que correspondem ao caule, são deles que brotam as flores e mais cladódios (SAMPAIO *et al.*, 2020).

Os botões florais podem surgir em qualquer local do caule, já as raquetes costumam brotar nas laterais, geralmente em número de 2 a 3. Possui formato oblongo como no caso das palmas pertencentes ao gênero *Nopalea* ou ovalado no caso das do gênero *Opuntia*, com tamanhos que podem variar a depender da espécie.

Por ser dividido em muitas seções e pela sua cor esverdeada proveniente da sua capacidade de realizar fotossíntese, podem ser confundidos com as folhas, porém após a fase inicial do crescimento, seus caules passam a possuir apenas espinhos e pequenas estruturas semelhantes, mas com tamanhos e espessuras diferentes, chamadas de gloquídeos, distribuídos na extensão da raquete (SAMPAIO, *et al.*, 2020).

Possui raízes superficiais distribuídas em um raio de até 6 metros de comprimento e 30 cm de profundidade, se dividindo em 2 categorias, as raízes fixas e flutuantes. Seus frutos, conhecidos popularmente como figo-da-índia, possuem formato ovalado, apresentam espinhos e gloquídeos no seu pericarpo e costumam ter coloração amarela-esverdeada, vermelho-amarelada ou tonalidade arroxeadas. São suculentos e nutritivos, possuindo considerável valor nutricional, devido a presença de vitaminas, especialmente A e C, magnésio, fibras e cálcio (LOPES, 2007).

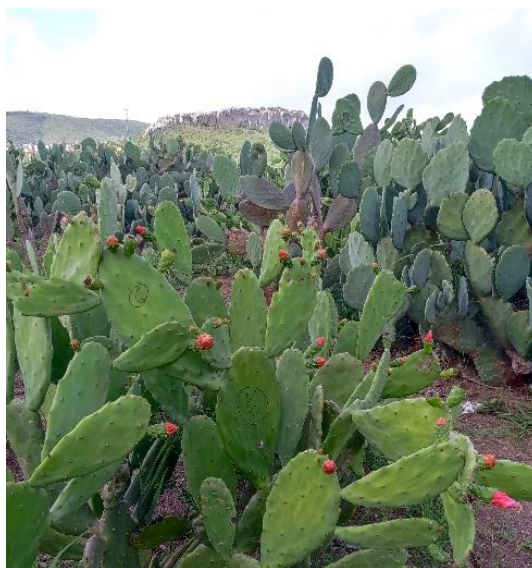


Figura 1. Variedades de palma forrageira localizadas na Estação Experimental de Arcoverde – IPA

2.4 BIOLOGIA FLORAL DA PALMA FORRAGEIRA

Importantes para a identificação, classificação e filogenia do grupo ao qual pertencem, as flores, em sua imensa variedade, são caracterizadas como ápices caulinares especializados com função reprodutiva. Elas representam um passo importante na evolução das plantas, pois seu surgimento fez com que os óvulos e as sementes não mais ficassem expostos, estando agora guardados no interior de uma cavidade que se refere ao ovário (TEIXEIRA, 2014).

Sua estrutura é composta por pétalas, as quais possuem uma grande variedade de cores e formatos, sépalas, cálice, corola e estruturas sexuais femininas (gineceu) e/ou masculinas (androceu) (SANTOS; CHOW HO, 2014).

Boa parte das cactáceas são hermafroditas, mas a biologia floral dessa família ainda é pouco conhecida. Sem tantas pesquisas Mandujano (2010) afirma que apenas 2% das espécies dessa família são estudadas. A palma forrageira, (*O. ficus-indica* Mill e *N. cochenillifera* Salm Dyck) apesar da sua importância, atualmente ainda tem suas características e mecanismos florais pouco descritos (PASTORIZA, 2016).

No semiárido brasileiro a época de floração tem seu 'boom' no período da primavera ao outono, embora algumas espécies, quando em condições favoráveis possam florir praticamente o ano todo (CUNHA *et al.*, 2020). Ainda que seu período de abertura possa variar conforme as condições climáticas e particularidades de cada espécie, as flores da palma são diurnas e boa parte delas abre no período da manhã, havendo também algumas que abrem a tarde (PIMENTA, 1990).

As flores dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* apresentam características morfológicas distintas e podem ser um bom guia para diferenciar esses dois gêneros. Nas flores do gênero *Opuntia*, embora possa haver alguma variação na cor, elas geralmente são amarelas e algumas podem apresentar uma mudança na sua coloração ao longo do período de abertura, adquirindo um tom rosado (AGUERO, 2005). São actinomorfas, hermafroditas, possuem um grande número de estames e estigma em posição superior, facilitando o pouso de insetos (MENEZES *et al.*, 2005).



Figura 2. Flor do gênero *Opuntia*, variedade IPA - F8.

Fonte: DUARTE, M. E. M (2022)

Já as flores da *Nopalea cochellinifera* (L.) Salm-Dyck, polinizadas principalmente por pássaros (GOIS *et al.*, 2013) têm coloração avermelhada, são alongadas com corola tubular e não se abrem na antese. Possuem o estigma em posição superior aos estames, mas essa distância se encurta no estágio de maturação floral. Ao longo do período em que se abrem as anteras e o estigma fica receptivo, ocorre novamente o distanciamento entre os dois, sendo assim, designadas como alógamas (CUNHA *et al.*, 2020).

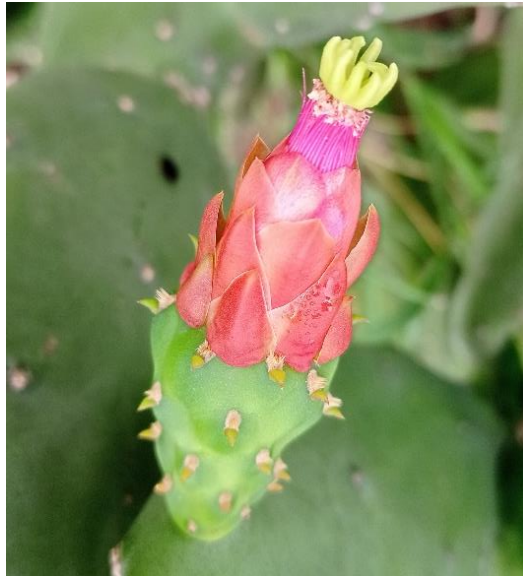


Figura 3. Flor do gênero *Nopalea*. Variedade IPA - F21 melhorada
Fonte: DUARTE, M. E. M (2022)

As informações sobre biologia floral são fundamentais para entender o funcionamento do sistema reprodutivo da planta e conhecer os processos envolvidos no desenvolvimento do seu ciclo, compreendendo seus estádios desde início da floração, bem como a fecundação, até a formação do fruto e das sementes (ASSIS, 2009). Essas informações são essenciais, principalmente para áreas como o melhoramento genético que utilizam técnicas como a hibridação, realizadas através do cruzamento interespecífico objetivando a seleção de híbridos com características de interesse advindas da segregação (FERREIRA, 2006).

2.5 ABORTAMENTO DE FRUTOS DA PALMA FORRAGEIRA

As causas para o abortamento podem ser inúmeras. Nas cactáceas, alguns dos fatores para a abscisão de frutos podem ser estresses bióticos e abióticos, baixa viabilidade polínica, ausência de polinizadores e autoincompatibilidade (PASTORIZA, 2016). Além disso, segundo Oliveira e Maruyama (2014), plantas com flores hermafroditas, normalmente produzem mais flores do que de fato serão formados os frutos.

Desenvolver frutos e sementes apresenta um alto custo para as angiospermas. Deste modo, em alguns casos, a parte reprodutora feminina ao identificar a ocorrência

de óvulos fertilizados com material genético de baixa aptidão ou a presença de fenômenos que afetem a translocação do gameta masculino até o óvulo, pode realizar abortamento, a fim de poupar recursos para fecundar gametas que tenham maior eficiência (OLIVEIRA & MARUYAMA 2014).

Compreender os fatores por trás do abortamento é fundamental para que seja possível desenvolver estratégias que, além de mitigar as limitações na taxa de produção de frutos, também eleve seu desempenho visando reduzir a consequente, baixa produtividade e qualidade das sementes.

2.6 VIABILIDADES DO GRÃO DE PÓLEN E RECEPTIVIDADE DO ESTIGMA

Informações sobre viabilidade do pólen e receptividade do estigma são necessárias para a otimização das técnicas de melhoramento, gerando dados imprescindíveis sobre fertilidade, vigor, potencial funcionalidade, tempo de viabilidade e compatibilidade e reprodução (DAFNI e FIRMAGE, 2000).

Boa parte das angiospermas possuem flores hermafroditas com gineceu e androceu funcionais, no qual o pólen representa o gameta masculino, enquanto o estigma é a parte receptora do órgão feminino (OTÁROLA & ROCCA, 2014), mas para que a reprodução sexuada aconteça é fundamental que as estruturas reprodutivas estejam viáveis.

Com exceção da partenocarpia e da apomixia, a formação dos frutos se dá prevalentemente por meio da polinização (STEPHENSON, 1981). Esse processo decorre do encontro do pólen com o estigma (AGUIAR, 2012). Para que ela seja bem sucedida, é necessário que o pólen esteja maduro e que o estigma esteja no estágio de antese, momento no qual ele se torna receptivo (PIO *et al.*, 2004). Além disso, é preciso que haja compatibilidade entre os dois.

Quando há compatibilidade, inicia-se o processo de fecundação. Nele, o pólen, ao entrar em contato com a superfície estigmática, desenvolve um tubo polínico que se estende ao longo do estilete até o ovário. Essa estrutura tem como função translocar as células espermáticas até o encontro do óvulo, onde irão se fundir à oosfera. Esse

mecanismo de fecundação conhecido como sifonogamia, ocorre tanto em plantas alógamas quanto autógamas (OLIVEIRA & MARUYAMA, 2014).

Quando incompatíveis, não há emissão do tubo polínico (BRUCKNER, 2005) ou, se houver, ele não atinge o prolongamento necessário para concluir a fecundação. Nesses casos, a flor é abortada.

Alguns dos testes aplicados para identificar a viabilidade do pólen são o método de coloração, no qual os pólenes abortados se distinguem dos não abortados através da utilização de corantes e o teste de germinação *in vitro*. Esse experimento consiste em analisar a capacidade de emissão e crescimento do tubo polínico em meio de cultura (DAFNI e FIRMAGE, 2000).

Para a verificação da receptividade do estigma existem alguns métodos como, por exemplo, a utilização peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 3%, proposto por ZEISLER (1938). Quando o estigma está receptivo ele possui uma enzima chamada peroxidase que ao entrar em contato com o peróxido de hidrogênio gera uma reação que tem como resultado a criação de muitas bolhas, representando uma resposta positiva.

A avaliação da viabilidade dessas duas estruturas proporciona respostas que servirão como guia para identificar e compreender possíveis obstáculos no processo de reprodução, além de otimizar e garantir um maior sucesso de técnicas como a hibridação (SILVA *et al.*, 2014).

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

Avaliar o desenvolvimento da estrutura floral das espécies de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* e sua relação com a fecundação dos ovários.

3.2 ESPECÍFICOS

- Acompanhar o desenvolvimento da emissão do botão floral à fecundação e maturação do embrião em 3 diferentes acessos de palma forrageira: Miúda (IPA 100004), F21 melhorada (IPA 200021) e F8 (IPA-200008);
- Calcular a taxa de abortamento de botões florais e viabilidade de frutos;
- Identificar a viabilidade dos grãos de pólen através do método de coloração;
- Monitorar o desenvolvimento do tubo polínico através da indução da germinação do grão de pólen em meio de cultura;
- Avaliar a receptividade dos estigmas;
- Mensurar a produção de sementes dos frutos produzidos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, na Estação Experimental de Arcoverde - PE, (8°25' S; 37°05' W), localizada na microrregião do sertão do Moxotó durante o período de fevereiro a maio de 2022.

Para a realização deste estudo foram selecionados 3 acessos de palma forrageira em condições de sequeiro. Os acessos avaliados foram: Palma Miúda e a cultivar IPA - F21 melhorada, ambas do gênero *Nopalea* e a cultivar IPA - F8, pertencente ao gênero *Opuntia*.

4.1 AVALIAÇÃO DA TAXA DE ABORTAMENTO

Para avaliar a taxa de botões florais que chegam à fase de fruto, foram selecionadas 10 plantas, utilizadas como repetições, para as variedades Miúda e IPA - F21 melhorada e, devido à ausência de botões, apenas 05 repetições para a IPA - F8. Em cada repetição foram marcados 20 botões florais em estágio inicial de brotamento.

O acompanhamento dos botões foi realizado com contagens feitas em intervalos de 7 dias. Após os registros adquiridos durante esse tempo, foi verificada a quantidade de botões abortados, com avaliação do período em que a abscisão ocorreu e calculada a porcentagem de quantos botões completaram seu ciclo.



Figura 4. Botões de *Opuntia* (variedade: IPA - F8) em diferentes estádios de desenvolvimento.

Fonte: DUARTE, M. E. M (2022)

4.2 CONTAGEM DAS SEMENTES

Foram coletados 10 frutos maduros de cada um dos três acessos: Miúda, IPA - F21 melhorada e F8, para a contagem do número médio de sementes produzidas. O cálculo foi feito utilizando apenas as sementes desenvolvidas.

4.3 RECEPTIVIDADE DO ESTIGMA

A receptividade do estigma foi realizada utilizando uma solução de peróxido de hidrogênio a 3% (ZEISLER, 1938). Para esta avaliação, 10 flores em antese foram coletadas para cada um dos 3 acessos de palma. Os estigmas foram retirados com o auxílio de uma lâmina e, logo após a verificação da presença de viscosidade, foram submersos em recipientes de vidro contendo peróxido de hidrogênio a 3%. A constatação da receptividade foi conferida visualmente através da formação de bolhas. O resultado foi verificado por meio da relação entre o número de estigmas avaliados e o número de estigmas viáveis.

4.4 VIABILIDADE DO GRÃO DE PÓLEN

Para a viabilidade do grão de pólen foram realizados 2 tipos de testes: Teste de coloração e teste de germinação do grão de pólen em meio de cultura.

4.4.1 Teste de coloração

Para essa avaliação o método de coloração foi realizado utilizando o Reativo Alexander (ALEXANDER, 2009). 5 flores em antese foram coletadas para cada um dos 3 acessos. Os grãos de pólen foram imediatamente postos em lâminas e submersos na solução de Alexander. Após alguns poucos minutos, a análise foi realizada com o auxílio de um microscópio óptico (Nikon, Eclipse E200). Para garantir homogeneidade e maior segurança nos dados, foram contados 100 grãos em 3 campos de visão aleatórios para cada amostra. A viabilidade foi calculada através do número médio de grãos viáveis.

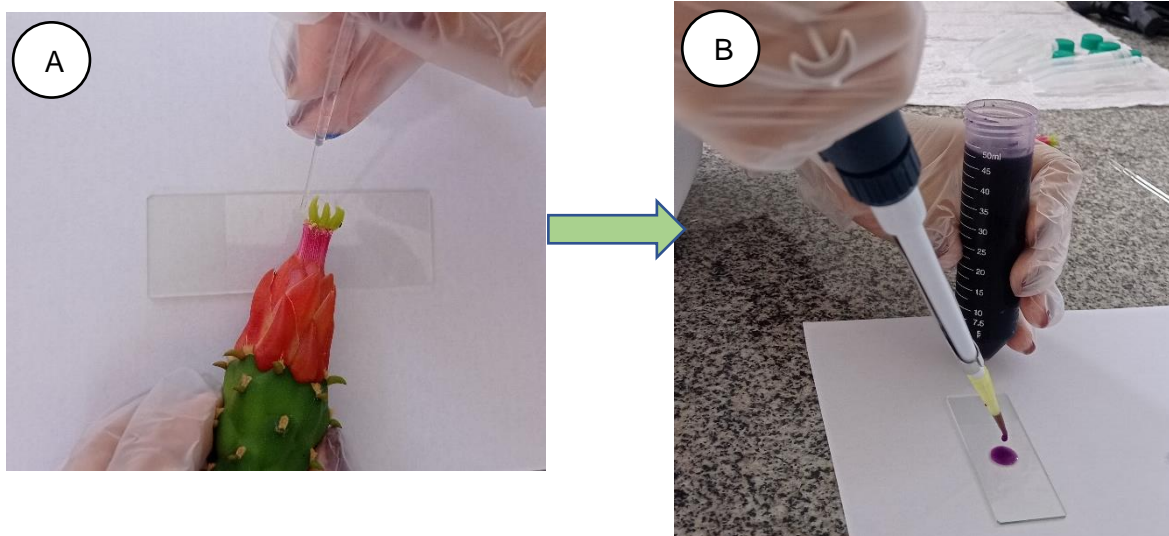


Figura 5. (A) Depósito dos grãos de pólen na lâmina; (B) Adição da solução de coloração (Reativo Alexander) sob os grãos de pólen.
Fonte: DUARTE, M. E. M (2022)

4.4.2 TESTE DE GERMINAÇÃO *IN VITRO*

Para esta avaliação os grãos de pólen foram coletados com as flores na antese e logo em seguida colocados em placas de Petri plásticas contendo o meio de germinação que foi preparado utilizando 100 ppm de H_3BO_4 ; 100 ppm de KNO_3 ; 200 ppm de $MgSO_4$; 300 ppm $Ca(NO_3)2 \cdot 4H_2O$ (BREWBAKER & KWACK, 1963) em soluções de sacarose a 10%, 20%, 30% e 40%.

Em seguida as placas de Petri foram deixadas por um período de 24 horas no escuro em temperatura ambiente. Após esse tempo, foi feita a observação dos grãos de pólen em um microscópio óptico (Nikon, Eclipse E200) para verificar a formação do tubo polínico. Para cada um dos 3 acessos foram feitas 5 repetições. A taxa de germinação foi calculada a partir da contagem de 100 grãos em cada repetição.

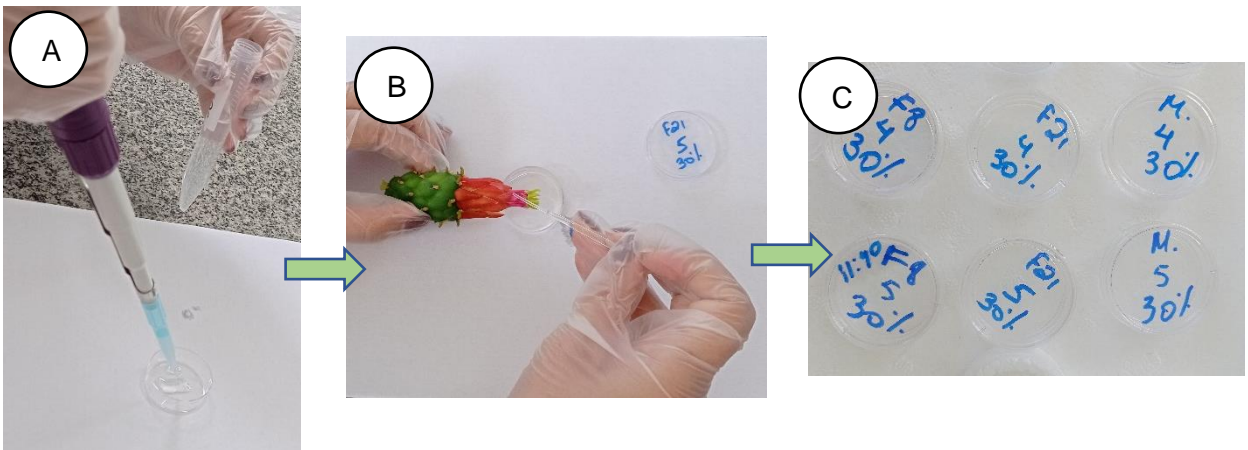


Figura 6. (A) Adição da solução de germinação na placa de Petri; (B) Introdução dos grãos de pólen no meio de cultura; (C) grãos de pólen incubados no meio de cultura

Fonte: DUARTE, M. E. M (2022)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na avaliação do abortamento dos botões florais indicaram um alto índice nas 3 espécies de palma forrageira analisadas. A cultivar IPA - F8 obteve o maior insucesso reprodutivo, apresentando uma taxa de 100% de abortamento. Em seguida veio a IPA - F21 melhorada com 98% e, com menor porcentagem, a Miúda com 84,4% dos botões florais com seu ciclo interrompido prematuramente (Figura 7).

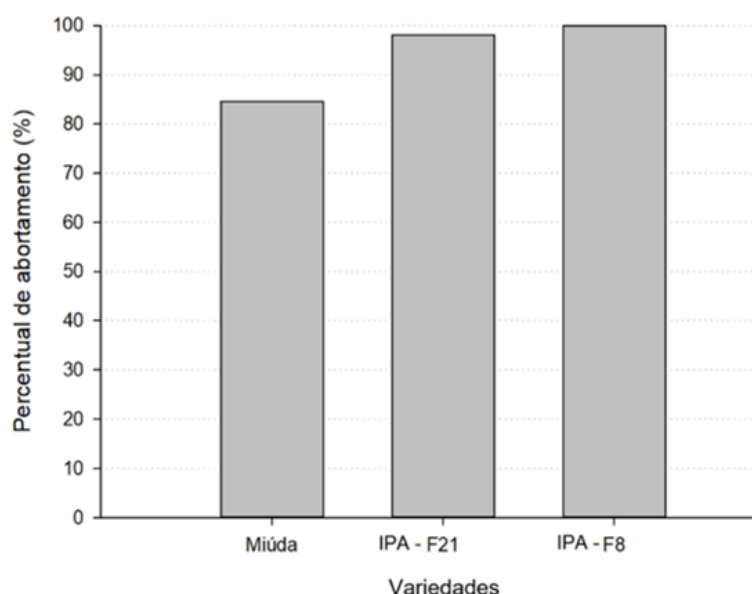


Figura 7. Percentual de botões florais abortados nas variedades Miúda, IPA - F21 melhorada e IPA - F8

Com relação ao estágio em que ocorreu maior abscisão, foi observado que na IPA - F8 os botões já começaram a cair logo na segunda semana após seu brotamento, mantendo uma relevante tendência de queda até a sexta semana, tendo quase todos os seus botões abortados dentro desse intervalo.//

Foi observado que, do surgimento do botão até ocorrer a emissão das flores levaram em torno de 5 semanas. Sendo assim, é possível observar, através da demonstração do gráfico (figura 8) que, boa parte dos botões desta variedade tem um comportamento abortivo que se segue até o momento da emissão das flores, ponto em que ocorre o seu pico.

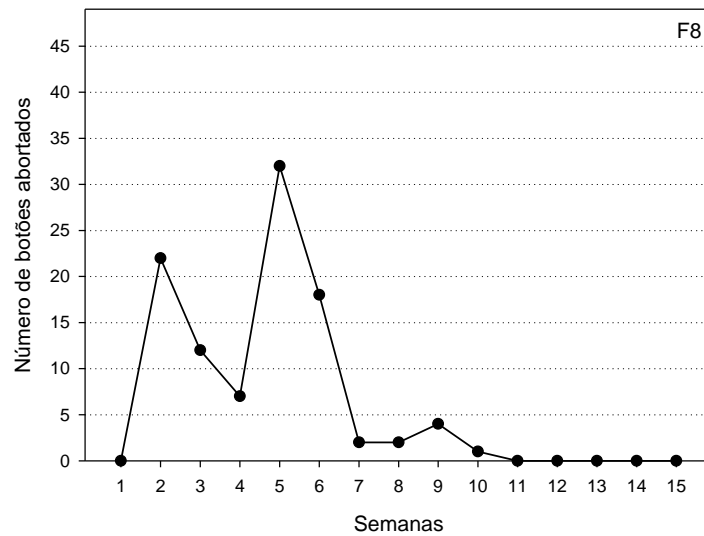


Figura 8. Período de ocorrência de abortamento dos botões florais da variedade IPA - F8 ao longo do seu ciclo.

As variedades Miúda e IPA - F21 melhorada tiveram seu período de maior caimento entre a 3^a e a 10^a semana e 3^a a 9^a semana, respectivamente, seguindo uma certa similaridade que pode estar associada ao fato de pertencerem ao mesmo gênero. Nelas o período que se estende do surgimento dos botões até a emissão da flor dura em torno de 4 - 6 semanas na IPA - F21 melhorada e cerca de 5 semanas na Miúda. Os dados mostram que boa parte dos botões marcados chegaram à fase de flor e início de formação de fruto, mas foram abortados precocemente antes de completar a maturação.

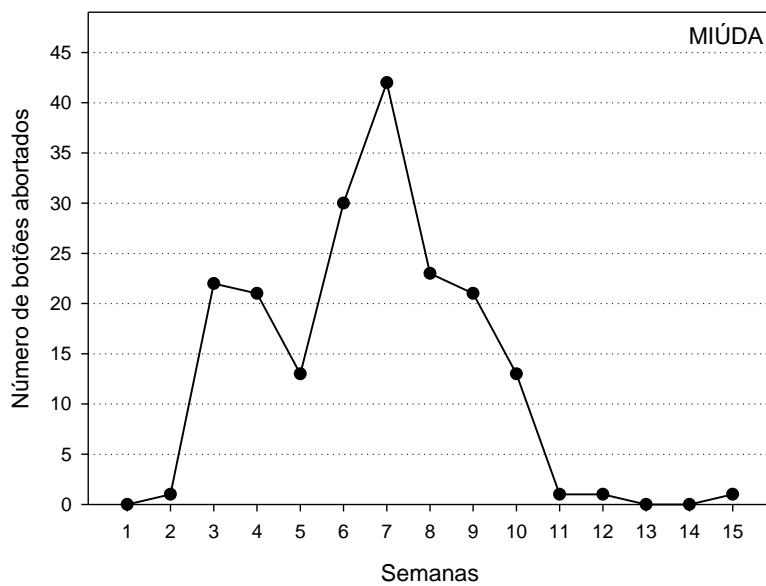


Figura 9. Período de ocorrência de abortamento dos botões florais da variedade Miúda ao longo do seu ciclo

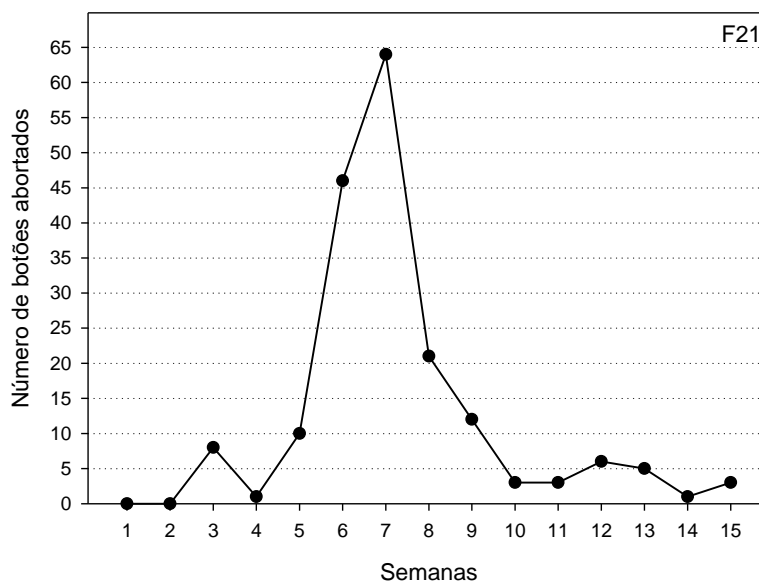


Figura 10. Período de ocorrência de abortamento dos botões florais da variedade IPA - F21 melhorada ao longo do seu ciclo

Dias após a antese e ao processo de polinização, os frutos começaram a apresentar coloração amarelada e aparência murcha, tendo seu desenvolvimento interrompido, sendo, desse modo, abortados antes de completar o processo de maturação. Durante a realização dessa pesquisa foi observado que, embora a IPA - F8 tenha perdido seus botões antes de virarem fruto, em campo, foi possível ver que alguns poucos gerados apodreceram antes de amadurecerem.



Figura 11. Frutos em processo de abortamento. Variedades: (A) Miúda ; (B) IPA - F21 melhorada ; (C) IPA - F8.

Fonte: DUARTE, M. E. M (2022)

O abortamento dos frutos pode ocorrer em função de vários motivos como temperatura, deficiência de nutrientes e também acometimento de pragas e doenças (PERDONÁ *et al.*, 2014). Em *O. compressa*, por exemplo, foi observado que a razão para o não amadurecimento de parte dos seus frutos é proveniente dos danos provocados por larvas de *Aspohondylia betheli* (Cecidimyiidae) (AGUERO *et al.*, 2006).

Bowers (1996) ao analisar durante 4 anos aspectos reprodutivos e vegetativos da *O. engelmannii* verificou que, em média, apenas 48% dos seus botões florais completam o seu ciclo, citando a disponibilidade hídrica como um fator de influência nesse quesito. Em *Nopalea* umas das causas para o aborto é a estrutura morfológica das suas flores (SANTOS *et al.*, 2010).

Segundo Battisti *et al.* (2013) plantas que costumam apresentar fatores de interferência na sua fenologia tendem a produzir maior número de botões florais justamente devido a chance de ocorrência de fenômenos adversos durante esse período. No caso de espécies como a *Opuntia ficus-indica*, que apresentam um período prolongado para a produção dos seus botões florais, que levam em média 3 a 5 semanas para desenvolver esse processo (AGUERO *et al.*, 2006), podem estar mais sujeitas ao acometimento dessas eventualidades.

Outro fator a ser considerado é que, apesar de algumas cactáceas do gênero *Opuntia* serem consideradas frutíferas com boa produtividade, de acordo com Menezes

(2005), essas plantas quando localizadas em altitudes inferiores a 1000m e latitudes abaixo de 22° podem apresentar floração reduzida, influenciando também na não formação de frutos. Fatos estes que refletem na produção. Esse é o caso de algumas áreas do semiárido brasileiro (SANTOS *et al.*, 2006). Além disso, De Nettancourt (1997) sugere que, assim como já descrito em outras plantas, que o abortamento nas cactáceas pode estar ligado a presença de alelos que causam incompatibilidade genética.

Valores expressivamente altos, como os encontrados nesse estudo, representam baixa produção que reflete diretamente na disponibilidade de sementes. As plantas do gênero *Opuntia* geralmente possuem grande quantidade de sementes, algumas domesticadas e outras selvagens documentadas no México, apresentam cerca de 16 - 518 sementes por fruto (AGUERO *et al.*, 2006).

No caso dos frutos dos 3 acessos avaliados nesta pesquisa, a quantidade de sementes presente em cada um deles é pequena. A cultivar IPA - F21 melhorada apresentou uma média de 6 sementes desenvolvidas, na Miúda, foi registrado um número médio de 4 sementes. Na IPA - F8, apenas um fruto possuía sementes, sendo contabilizadas um total de 12. Esse rendimento, que pode ser suficiente em outras espécies com abundância de frutos, torna-se um entrave para as plantas que apresentam uma baixa produção.

Nessas circunstâncias, o número reduzido de sementes resulta em muitos pontos negativos, pois, mais que unidades fundamentais para a geração de plantas, elas são fonte de material genético detentoras das possibilidades de variabilidade genética proporcionada pela recombinação de genes. Por conta disso, desempenham um papel importante para a área de melhoramento. Sua pouca disponibilidade provoca uma escassez de material genético nos bancos de germoplasma, o que leva a uma carência na conservação de genótipos potencialmente úteis para a seleção de características de interesse agrônômico (LABOURIAU, 1990).

A presença de sementes nos frutos da IPA - F8 também pode estar relacionada a ocorrência de apomixia. Esse fenômeno já foi descrito em algumas espécies de *Opuntia*, como a *O. aurantiaca* Lindl., *O. dillenii* Haw., *O. leucantha* Link. & Otto e *O. tortispina* Engelm. & J. M. Bigelow (LENZI, 2008). Um experimento em *O. monacantha* demonstrou que relacionado a apomixia, há uma conseqüente má formação de

sementes e abortamento dos frutos ainda jovens (LENZI, 2008).

Com exceção da partenocarpia, a formação de frutos decorre do estímulo da fecundação (AGUIAR, 2012). Com isso, faz-se necessário que as estruturas reprodutivas da planta estejam em condições adequadas de qualidade e funcionamento. Com ressalva nos casos de apomixia, em geral a presença de semente nos frutos indica que houve fertilização, no entanto, plantas com taxas consideráveis de abortamento após a abertura das flores podem indicar a possibilidade de que esse insucesso decorra do insatisfatório funcionamento dos seus órgãos sexuais, quando submetidos a estresses bióticos e abióticos.

Na verificação do percentual de receptividade do estigma utilizando peróxido de hidrogênio a 3%, todos os 3 acessos analisados tiveram resultados confirmativos, mostrando que 100% deles estavam receptíveis. O resultado foi obtido por meio da observação da formação de bolhas de ar em consequência da reação da presença da enzima peroxidase em contato com o peróxido de hidrogênio (RAMOS *et al.*, 2008).



Figura 12. Formação de bolhas de ar nos estigmas imersos em peróxido de hidrogênio a 3% como reação à presença da enzima peroxidase.

Fonte: DUARTE, M. E. M (2022)

Um estudo realizado com 5 acessos de palma do gênero *Opuntia* relatou que o maior período de receptividade dos seus estigmas se dá algumas horas após a antese, tendo sido identificados percentuais de 75% e 87% de receptividade (PASTORIZA,

2016). Em *O. monacantha* foi registrado que o estigma permanece receptivo do momento da abertura até o fechamento da flor (LENZI, 2008).

Na reprodução sexuada, o estigma estar receptivo é apenas uma parte necessária ao todo do ciclo. Outro elemento que pode afetar o ciclo reprodutivo é a viabilidade do grão de pólen.

Na análise da viabilidade do pólen através do método de coloração, o resultado foi conferido por meio da tonalidade adquirida pelos grãos após a imersão em uma solução de reativo Alexander (ALEXANDER, 2009), no qual ganha-se um tom vermelho-arroxeadado os grãos viáveis e esverdeado os abortados/inviáveis. A porcentagem de grãos viáveis para a variedade Miúda foi de 64,4%, 84,6% na IPA - F21 melhorada e 97% na IPA - F8.

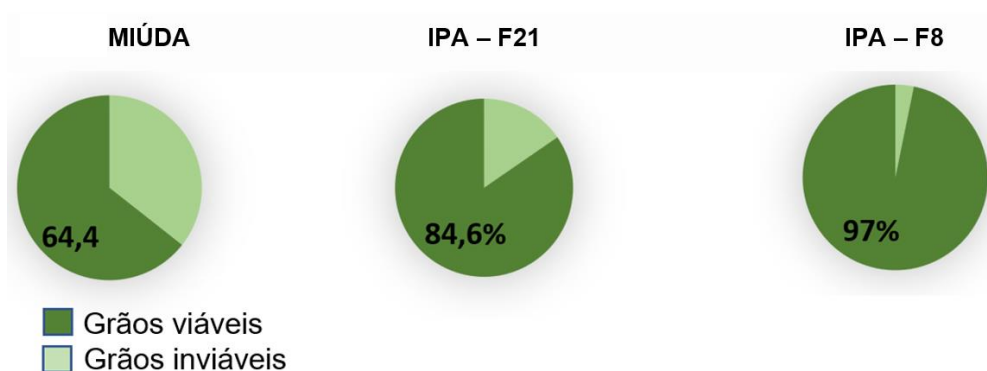


Figura 13. Percentual que indica a viabilidade dos grãos de pólen das variedades Miúda , IPA - F21 melhorada e IPA - F8 a partir do teste de coloração utilizando a solução de Reativo Alexander.

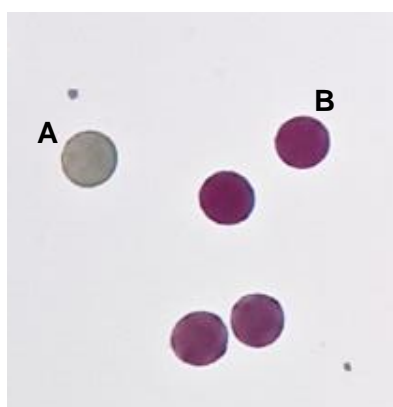


Figura 14. Grãos de pólen após imersão na solução de coloração (Reativo Alexander). (A) Grão inviável; (B) grãos viáveis

FONTE: DUARTE M. E. M (2022)

PASTORIZA (2016) utilizando o método de coloração com anilina azul em lactofenol em cultivares do gênero *Opuntia* atestou viabilidade acima de 80% tanto na pré antese quanto na antese. A alta taxa de viabilidade dos grãos de pólen de acessos de palma forrageira também foi constatada por ORLANDI *et al.* (2015), que, usando o método de epifluorescência (FDA), encontrou os seguintes valores: 91.28% (± 4.6) para a cultivar 'Bianca', 88.1% (± 3.94) para 'Rossa' e 76.7% (± 11.21) em 'Gialla'.

Existem diferentes métodos de coloração. No geral, esse tipo de teste possui as vantagens de apresentar resultados rápidos e de fácil visualização, alguns apresentam a capacidade de fornecer resultados que se correlacionam com a germinação. Contudo, costumam dar resultados superestimados (DAFNI & FIRMAGE, 2000).

A viabilidade do pólen pode ser afetada por fatores ambientais, (ABREU *et al.*, 2008) assim como o estágio da flor em que ele foi coletado e as condições em que foi acondicionado (FRANZON & RASEIRA, 2006).

Pesquisas sobre o desempenho reprodutivo da palma forrageira ainda são muito escassas. Sem tantos dados na literatura, o protocolo para a germinação *in vitro* utilizado nesta pesquisa teve como referência o preparo básico do meio de cultura para germinação de pólen elaborado por Brewbaker & Kwack (1963). Para esta análise o pólen foi considerado germinado quando o comprimento do seu tubo polínico ultrapassou o diâmetro do grão, como sugerido por Chagas *et al.*, (2010).

Nessas condições, verificou-se que a solução com 30% de sacarose ocasionou um melhor desempenho no desenvolvimento do tubo polínico proporcionando uma taxa de 36% de germinação na IPA - F8, 21% na Miúda e apenas 5% na IPA - F21 melhorada

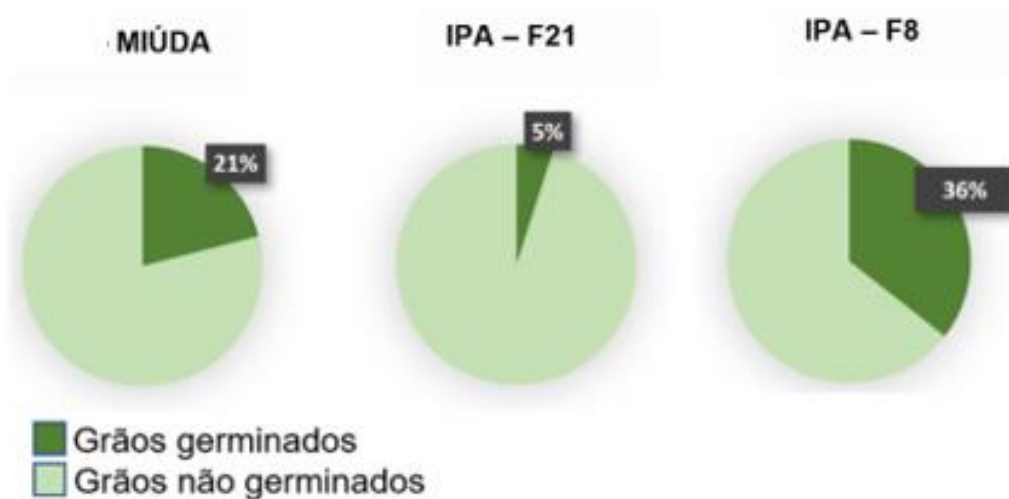


Figura 15. Percentual de germinação dos grãos de pólen *in vitro*

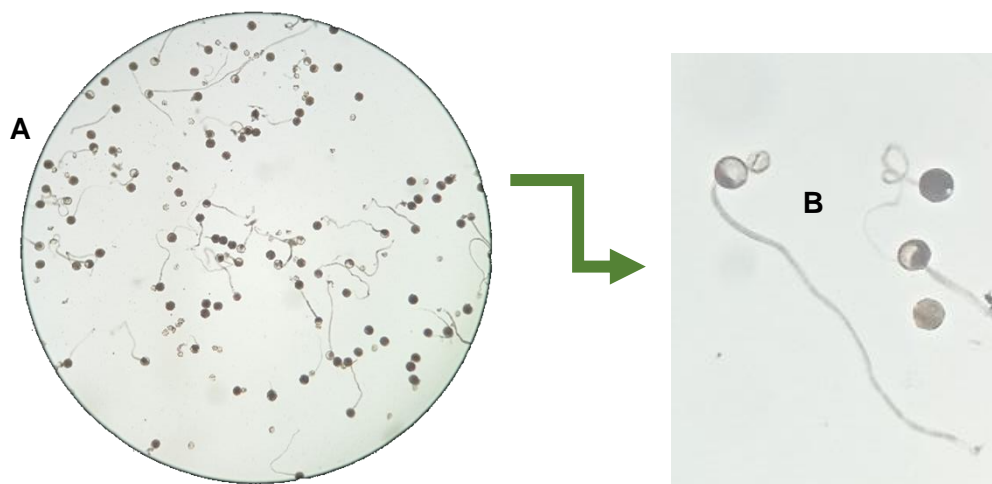


Figura 16. (A) Germinação dos grãos de pólen em meio de cultura; (B) Ampliação do grão de pólen germinado com tubo polínico bem desenvolvido.

Fonte: DUARTE, M. E. M (2022)

No entanto, embora 30% tenha sido a concentração mais favorável, a análise das diferentes concentrações demonstrou que com 10% de sacarose os grãos já apresentaram potencial germinativo, não sendo, porém, suficiente para o desenvolvimento do tubo polínico, tendo ocasionado apenas o seu rompimento. Já em

40% de sacarose houve um desfavorecimento na indução da germinação, causando uma expressiva redução tanto no número de grãos rompidos quanto germinados.

Esse resultado pode estar relacionado à possível necessidade de ajuste na concentração dos componentes do meio de cultura, levando em conta que a metodologia adequada para a germinação *in vitro* dos grãos de pólen tem variações dependendo da espécie trabalhada. Essa técnica é comumente realizada com a aplicação de compostos orgânicos e inorgânicos que influenciam na germinação. Apesar de ser preciso fazer alterações na composição e concentração de alguns componentes, elementos como o boro, cálcio e sacarose são os mais importantes (CHAGAS *et al.*, 2010).

A importância da sacarose pode ser constatada em estudos como o de Ramos *et al.* (2008), que ao testar o melhor protocolo de germinação para pólen de citros, identificou que a ocorrência do estouro dos grãos tem a ver com a necessidade de ajuste das concentrações de sacarose, já que os resultados mostraram que isso ocorreu na ausência ou nas concentrações mais baixas desse nutriente. Assim como Xie *et al.* (2004) que em sua pesquisa com peras asiáticas verificou que, no ajuste do meio de cultura, houve uma alta na taxa de germinação em decorrência do aumento na concentração desse açúcar.

Resultado semelhante foi encontrado por Nogueira *et al.* (2015) em sua avaliação em nespereiras, na qual os autores também observaram um aumento linear na germinação ao elevar as concentrações de sacarose. Segundo Dafni (1992), os valores ideais de sacarose para testes de germinação variam entre 0 e 500g.L⁻¹.

Esse fato pode ser justificado em função de, além de ser um importante regulador osmótico, a sacarose também proporcionar a energia necessária para o desenvolvimento do tubo polínico (FRANZON & RASEIRA, 2006). Além disso, outro fator importante é que a presença do boro juntamente com a sacarose forma o complexo ionizável sacarose-borato que acelera a interação com as membranas celulares favorecendo o desenvolvimento no meio de cultura (CHAGAS *et al.*, 2010).

As concentrações dos outros componentes da solução também podem ter influenciado positiva ou negativamente, já que há variação na interação entre as

diferentes espécies. A quantidade elevada de grãos de pólen que se romperam, mas não formaram o tubo, por exemplo, pode estar associada com a concentração de nitrato de cálcio. Sousa (2010) ao utilizar o nitrato de cálcio na concentração de 400mg.L⁻¹, observou que houve um declínio na taxa de germinação. Corroborando com Pio *et al.* (2004), que atestou em citros que a alta concentração deste composto causou um maior percentual de rompimento dos grãos.

Apesar da necessidade de adequação do protocolo de germinação, os dados encontrados nesse estudo podem servir como indicativo de que o abortamento dos frutos esteja relacionado à baixa capacidade dos grãos de pólen de desenvolver de forma satisfatória o tubo polínico. Desse modo, para compreender melhor os entraves que afetam a germinação do pólen, é preciso investigar outros possíveis fatores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ Os 3 acessos de palma forrageira avaliados nesse estudo apresentaram alta taxa de abortamento de frutos.
- ✓ A abscisão dos botões florais ocorreu de forma precoce nas 3 variedades, com destaque para a variedade IPA - F8, que obteve o maior índice de abscisão.
- ✓ As variedades Miúda e IPA - F21 melhorada tiveram comportamento semelhante entre si, as quais apresentaram maior número de botões que chegaram a emitir flor.
- ✓ 100% dos estigmas se mostraram receptíveis em todos os acessos estudados.
- ✓ O teste de coloração demonstrou viabilidade de 64,4% em Miúda , 84,6% na IPA - F21 melhorada e 97% na IPA - F8.
- ✓ As análises de germinação dos grãos de pólen *in vitro* sugerem que, apesar da necessidade de ajuste na composição do meio de cultura, os grãos apresentam desempenho germinativo insatisfatório.

Os resultados observados nesta pesquisa acrescentam subsídios a essa área ainda carente de estudos mais conclusivos, servindo de adendo a novas pesquisas que buscam conhecimento para o aperfeiçoamento de técnicas como a hibridação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, T. B. *et al.* Fenologia floral, viabilidade do grão de pólen e receptividade do estigma do meloeiro. **Researchgate**. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257615214_Fenologia_floral_viabilidade_do_grao_de_polen_e_receptividade_do_estigma_do_meloeiro. Acesso em: 15 jun. 2022.

AGÜERO, J. A. R. *et al.*, Reproductive biology of Opuntia: A review. **Journal of Arid Environments**, Volume 64, Issue 4, 2006, Pages 549-585,. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.018>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196305001564>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

AGUIAR, C. **Botânica para ciências agrárias e do ambiente. Volume II, Reprodução e evolução**. São Paulo, Ed. Instituto Politécnico de Bragança, 2012.

ALEXANDER, M. P. Differential Staining of Aborted and Nonaborted Pollen: Stain Technology. **Taylor & Francis online**, 2009. DOI <https://doi.org/10.3109/10520296909063335>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/10520296909063335>. Acesso em 19 jun. 2022.

ALMEIDA, J. **A palma forrageira na região semiárida do estado da Bahia: diagnóstico, crescimento e produtividade**. Tese (Pós-Graduação em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Do Recôncavo Da Bahia. Cruz das Almas - Ba, p. 97. 2011.

ARAÚJO, L. de F.; OLIVEIRA, L. de S.C.; PERAZZO NETO, A.; ALSINA, O.L.S. de; SILVA, F.L.H. da. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: Relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 379- 384, 2005.

ASSIS, G. Melhoramento genético de forrageiras tropicais: importância e complexidade. *In* SIVIERO, Amauri. **Ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do sudoeste da Amazônia**. Acre Embrapa Acre. 2020. P.209 – 220 cap. 12. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/347842006_LivroEmbrapa> Acesso em: 28 jun. 2022.

BATTISTI, R. *et al.* **Dinâmica floral e abortamento de flores em híbridos de canola e mostarda castanha**. Pesquisa Agropecuária Brasileira [online]. 2013, v. 48, n. 2 [Acessado 10 Maio 2022], pp. 174-181. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200007>>. Epub 14 Jun 2013. ISSN 1678-3921. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200007>.

BOWERS, J. E., More flowers or new cladodes? Environmental correlates and biological consequences of sexual reproduction in a Sonoran Desert prickly pear cactus *O. engelmannii*. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**. 123, 34–40, jan – mar, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2996304>. Acesso em: 15 jun. 2022.

BRAVO, H. **Las cactáceas de México**. 2. ed. México: Uni. Nac, Aut., México, 1978.

BREWBAKER, J.L.; KWACK, B.H. The essential role of calcium in pollen germination and pollen tube growth. **American Journal of Botany**, Columbus, v.50, n.9, p.859-865, 1963. Disponível em: < <https://doi.org/10.2307/2439772>> Acesso em 03 jul. 2022.

BRUCKNER, C. H. *et al.* Auto-incompatibilidade do maracujá: implicações no melhoramento genético. **Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Embrapa Cerrados, Planaltina**, p. 137-338, 2005.

CHAGAS, E. A. *et al.* Composição do meio de cultura e condições ambientais para germinação de grãos de pólen de porta-enxertos de pereira. **Ciência Rural** [online]. 2010, v. 40, n. 2, pp. 231-236. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000200002>>. Epub 28 Maio 2010. ISSN 1678-4596. Acesso em: 30 jun. 2022.

CUNHA, V. M. *et al.* **Melhoramento da Palma Forrageira**. In *Palma Forrageira: Potencial e Perspectivas*. 1 edição, Recife – PE, Ed. Suprema Gráfica, 2020. C. 2 p.43-62

DAFNI, A. Pollination ecology: a practical approach. **Researchgate**. New York: Oxford University Press, 1992. p.250. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/262640814_DafniA_1992_Pollinati_on_Ecology_-_A_Practical_Approach_Oxford_University_Press>. Acesso em: 03 jul. 2022.

DAFNI, Amots; FIRMAGE; David H. Pollen and Pollination. **Researchgate**. 2000. DOI:10.1007/BF00984098 Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/226109254_Pollen_and_Pollination> Acesso em: 28 jun. 2022.

DE NETTANCOURT, D. Incompatibility in angiosperms. **Sex Plant Reprod**. 10, 185–199 (1997). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s004970050087>> Acesso em: 05 jun. 2022.

DOMINGUES, O. **Origem e introdução da palma forrageira no Nordeste**. Recife, Ed. Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais, 1963.

DONATO, Sérgio Luiz R; BORÉM, Aluízio; RODRIGUES, Maria Geraldo V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Minas Gerais, Ed. EPAMIG, 2020.

DUBEUX, J. J. C. B. *et al.*, Potencial da palma forrageira na América do Sul. **Cactusnet Newsletter**, n. 13, p 29-40, 2013. Disponível em: <<http://www.cactusnetwork.org/newsletter/>> Acesso em: 31 maio 2022.

FERREIRA, P. V. **Melhoramento de planas p Princípios e perspectivas**. Maceió, Ed. EDUFAL, 2006.

FRANZON, R. C.; RASEIRA, M. C. B. Germinação in vitro e armazenamento do pólen de *Eugenia involucrata* DC (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura** [online]. 2006, v. 28, n. 1, pp. 18-20. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000100008>>. Epub 19 Jun 2006. ISSN 1806-9967. Acesso em: 30 jun. 2022.

FROTA, M. N. L. *et al.*, Palma Forrageira na Alimentação Animal. **Documentos**. Teresina, v. 233. p. 1 – 48, agosto, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139110/1/Doc233.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2022.

GOIS, G. C.; SILVA, F. C. S.; RIBEIRO, W. S. Descrição morfológica, origem, domesticação, dispersão da palma forrageira e sua introdução no Brasil. **Researchgate**. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/310461277_CAPITULO_I_Descricao_morfologica_origem_Domesticacao_Dispersao_Da_palma_forrageira_e_sua_introducao_no_Brasil> Acesso em: 29 jun.2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal. Rio de Janeiro**: IBGE, 2014. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2014_v42_br.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

INSA – INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **O Semiárido Brasileiro**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em:< O Semiárido Brasileiro — Português (Brasil) (www.gov.br)> Acesso em 03 maio 2022.

IPA. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: 2006. 48p.

LABOURIAU, L. F. G.. **O interesse do estudo das sementes. Estudos avançados**, v. 4, p. 228-242, 1990. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40141990000200012>>. Acesso em 10 jun. 2022

LEAL, I. R.. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005. Disponível em: < https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ICnSiflZoQoC&oi=fnd&pg=PR9&dq=plantas+da+caatinga&ots=YbxifhahWw&sig=BXpxtRwUj9oezoLckF0PCz5XWJl&redir_esc=y#v=onepage&q=plantas%20da%20caatinga&f=false >. Acesso em: 10 maio. 2022.

LEMOS, M.. **Uso de esgoto doméstico tratado na produção de palma forrageira em assentamento rural do semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado em Manejo de solo e água no Semiárido do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água no Semiárido) - Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, Mossoró - RN, 2016. Disponível em: <<https://1library.org/document/zx5jl9kn-universidade-reitoria-pesquisa-graduação-programa-graduação-doutorado-semiárido.html>>. Acesso em: 26 mai. 2022.

LENZI, M.. **Biologia reprodutiva de Opuntia monacantha (Willd.) Haw.(cactaceae) em restingas da ilha de Santa Catarina, Sul do Brasil**. 2008. Tese (PósGraduação em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina. SC. 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30372428.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

LOPES, E. B. (ed.). **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semi-árido nordestino**. João Pessoa - PB: EMEPA/FAEPA, 2007. *E-book* (130p.) ISBN: 0102-0919. Disponível em:

<https://www.passeidireto.com/arquivo/87141592/palma-forageira-cultivo-uso-atual-e-perspectivas-de-utilizacao-no-semiarido>. Acesso em: 15 maio. 2022.

MARQUES, C. O. F. *et al* Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 75–93, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2940>. Acesso em: 23 jun. 2022.

MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A; SAMPAIO, E. V. S. B. **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife, Ed. Universitária da UFPE, 2005. 258p.

NOGUEIRA, P. V. *et al*. **Germinação de pólen e aplicação de ácido bórico em botões florais de nespereiras**. *Bragantia* [online]. 2015, v. 74, n. 1, pp. 9-15. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4499.0264>>. Epub Jan-Mar 2015. ISSN 1678-4499. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0264>. Acesso em: 04 jul.2022

OLIVEIRA, P. E., MARUYAMA, P. K M. **Sistemas reprodutivos**. *In* Biologia da polinização. Rio de Janeiro, Ed. Projeto Cultural. 2014. C. 3 p.71 – 92.

ORLANDI, F. *et al.*, Pollen morphology and reproductive performances in *Opuntia ficus-indica* (L). Mill. **Researchgate**. New York: Oxford University Press, 2015. 217-223. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1067.30. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1067.30> Acesso em: 20 maio 2022.

OTÁROLA, M. F., ROCCA, M. A. **Flores no tempo: A floração como uma fase da fenologia reprodutiva**. Rio de Janeiro, Ed. Projeto Cultural. 2014. C. 5 p.113 – 128

PAIXÃO, S. L.. **Avaliação morfológica de clones e progênies de palma forrageira**. Tese (Doutorado Integrado em Zootecnia) – Universidade Rural de Pernambuco, Recife – PE, 2012. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/6917>>. Acesso em: 30 jun. 2022.

PALMA forrageira. **Revista Cultivar**, Pelotas, 11 maio, 2005. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/palma-forageira>> Acesso em: 20 jun. 2022.

PASTORIZA, R. J. G.. **Biologia floral da palma forrageira: ocorrência de mecanismos reprodutivos e causa do abortamento de frutos**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE, 2016. Disponível em:<<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/5549/2/Rhuan%20Jose%20Goncalves%20Pastoriza.pdf>> Acesso em: 15 mai. 2022.

PERDONÁ, M. J. *et al*. Abortamento de frutos da noqueira macadâmia sob influência da adubação mineral. **Revista Ceres** [online]. 2014, v. 61, n. 3, pp. 392-398. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000300014>>. Epub 28 Jul 2014. ISSN 2177-3491. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000300014>. Acesso em: 25 jun. 2022.

PINTO, I. O.. **Diagnóstico e revitalização da palma forrageira como alternativa da pecuária no cariri oriental da Paraíba**. Tese (Mestrado em Desenvolvimento

Regional) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2015. Disponível em: < <https://1library.org/document/ye8vj61y-diagnostico-revitalizacao-forrageira-alternativa-pecuaria-cariri-oriental-paraiba.html>> Acesso em: 31 maio 2022.

PIO, L. A. S. *et al.* Germinação in vitro de pólen de citros sob diferentes concentrações de Cálcio e Boro. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.10, n.3, p.293-296, 2004. Disponível em: < <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/viewFile/960/900>>. Acesso em: 04 jul. 2022.

RAMOS, J. D. *et al.* Receptividade do estigma e ajuste de protocolo para germinação in vitro de grãos de pólen de citros. **Interciência**. v. 33, n. 1, p. 51-55, 2008. Disponível em: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000100011&lng=es&nrm=iso> Acesso: 20 jun. 2022

ROCHA, J. S. Palma forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte. **Documentos**. Sobral, v. 106. P. 1 – 40, Setembro, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/979108/1/DOC106.pdf>. Acesso em 30 jun. 2022.

ROJAS-AREHCHIGA, M.; VAHZQUEZ-YANES, C. **Cactus seed germination: a review**. Journal of Arid Environments, México, 1999. Disponível em: < <https://www.plantgrower.org/uploads/6/5/5/4/65545169/1-s2.0-s0140196399905827-main.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2022.

SAMPAIO, E. V. S.B. *et al.* **Morfologia e Fisiologia das Palmas Forrageiras**. In Palma Forrageira: Potencial e Perspectivas. 1 edição, Recife – PE, Ed. Suprema Gráfica, 2020. C. 3 p.63-88

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48 p. (IPA. Documentos, 30)

SANTOS, D. Y. A. C., HO, F. F. C. **Caracterização das angiospermas (Anthophyta)**. Licenciatura em Ciências – USP. SP, p. 01 – 23. 2014. Disponível em: <https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo03/diversidade_evolucao_plantas_PLC022/DivEvoPlan_top08.pdf> Acesso em: 20 jun. 2022.

SANTOS, *et al.*; **Palma forrageira**. In: FONSECA, DMF; MARTUS-CELLO, JA (Eds.) Plantas forrageiras. Viçosa, Editora UFV, p. 459-493. 2010.

SANTOS, D. C. *et al.* **Importância da Palma Forrageira para o Semiárido**. In Palma Forrageira: Potencial e Perspectivas. 1 edição, Recife – PE, Ed. Suprema Gráfica, 2020. C. 1 p.17-42

SILVA, T. C. *et al.* Conservação de forrageiras xerófilas. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 15, n. 3, p. 1-10, 2010. Disponível em: < <https://www.redalyc.org/pdf/636/63632381004.pdf>> Acesso em: 22 jun. 2022.

SILVA, T. G. F. *et al.* Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, p. 184-191, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/brag.2014.017> Acesso em: 29 jun. 2022.

SOUSA, V. A. de, SCHEMBERG, E. A. AGUIAR, A. V. de. Germinação in vitro de pólen de jerivá (*Syagrus romanzoffiana* (S.) Cham). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 147-151, jun. 2010. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/860252>> Acesso em 04 jul.2022.

STEPHENSON, A. G. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. **Annual review of ecology and systematics**, p. 253-279. 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.12.110181.001345>.> Acesso em: 10 jun. 2022.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do Semiárido**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em:< [Sudene - Delimitação do semiárido](#)> Acession em: 01 jun. 2022.

TEIXEIRA, S. P., MARINHO, C. R., PAULINO, J. V. **A flor: aspectos morfofuncionais e evolutivos**. In *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro, Ed. Projeto Cultural. 2014. C. 2 p.45 – 70.

XIE, S. *et al.* Pollen viability of Asian pear and effect of PGR, B and sucrose on germination and pollen tube development. **Journal of Fruit Science**, v.21, n.4, p.289-294, 2004. Disponível em: < http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-GSKK200404002.htm>. Acesso em: 02 jun. 2022.

ZANELLA, L. F. **Considerações sobre o clima e recursos hídricos do semiárido nordestino**. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n 36, 2016. Disponível em: < <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3176/2680>> Acesso em: 10 jun. 2022.

ZEISLER, M. 1938. Über die abgrenzung der igitlichen narbenfläche mit hilf von reaktionen. **Beih. Bot Zentralbl.**, v. 58a, p. 308-318