

POLINIZADORES EM ESPÉCIES ENANTIOSTÍLICAS: ESCOLHAS E COMPORTAMENTOS

Data de submissão: 09/03/2023

Data de aceite: 03/04/2023

Gabrielle Kathelin Martins da Silva

Faculdade de Educação, Ciências e
Letras de Iguatu - FECLI
Universidade Estadual do Ceará - UECE
Iguatu – Ceará
<http://lattes.cnpq.br/9344234816144229>

Sabrina Silva Oliveira

Universidade Federal de Pernambuco –
UFPE
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/3727983781129553>

Ana Carolina Sabino de Oliveira

Universidade Federal de Pernambuco –
UFPE
Recife - Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/8086954389063414>

Natan Messias de Almeida

Universidade Estadual de Alagoas –
UNEAL
Palmeira dos Índios – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/8568476706329281>

Jefferson Thiago Souza

Faculdade de Educação, Ciências e
Letras de Iguatu - FECLI
Universidade Estadual do Ceará - UECE
Iguatu - Ceará
<http://lattes.cnpq.br/5589855068988374>

RESUMO: Enantiostilia é um polimorfismo floral ocorrente em algumas plantas resultando em dois morfos florais distintos com orientações opostas entre estigma e estames, de modo a ter um morfo D (estigma a direita) e um morfo E (estigma a esquerda). Tal característica visa aumentar a transferência de pólen e favorecer a reprodução cruzada. Diante disso, neste estudo buscamos responder a seguinte questão: O posicionamento do estigma e o tamanho das estruturas florais (pétala e antera) influenciam a frequência de visitantes? Hipotetizamos que: 1. O posicionamento do estigma não terá influência na frequência dos visitantes e 2. O tamanho das estruturas florais afetará diretamente na frequência de visitantes, com mais visitas em flores com estruturas pétalas e anteras maiores. O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Araripe-Apodi com a espécie *Senna rugosa*, os quais foram realizadas 131 horas de observações focais em 56 flores intactas distribuídas entre 30 indivíduos. Estas flores também foram fotografadas com vista frontal e superior e medidas com o software ImageJ 5.0. E para a análise da associação entre as flores esquerdas e direitas e o tamanho das estruturas florais (anteras e corola)

com a preferência de visitantes foi utilizada a análise de variância através da abordagem de modelos lineares generalizados. Foram registradas sete visitas (2,75%) de abelhas *Xylocopa* sp. (polinizador efetivo), 240 visitas (95,66%) de outras abelhas consideradas visitantes ilegítimas. Com relação à influência do deslocamento do estigma na frequência dos visitantes, observou-se que abelhas não possuem preferência por nem um dos morfos florais durante a escolha para forrageamento. E que o tamanho da corola não tem influência na frequência de visitas.

PALAVRAS-CHAVE: *Senna rugosa*; Enantiostilia; Polinização.

POLLINATORS IN ENANTIOSTYL SPECIES: CHOICES AND BEHAVIORS

ABSTRACT: Enantiostyly is a floral polymorphism that occurs in some plants resulting in two distinct floral morphs with opposite orientations between stigma and stamens, with one morph having a D orientation (stigma to the right) and the other an E orientation (stigma to the left). This characteristic aims to increase pollen transfer and favor cross-pollination. Therefore, in this study, we sought to answer the following question: Does stigma position and the size of floral structures (petals and anthers) influence visitor frequency? We hypothesized that: 1. Stigma position will not have an influence on visitor frequency, and 2. The size of floral structures will directly affect visitor frequency, with more visits to flowers with larger petals and anthers. The study was conducted in the Araripe-Apodi National Forest with the species *Senna rugosa*, and 131 hours of focal observations were made on 56 intact flowers distributed among 30 individuals. These flowers were also photographed from the front and top views and measured with ImageJ 5.0 software. To analyze the association between left and right flowers and the size of floral structures (anthers and corolla) with visitor preference, analysis of variance through the generalized linear models approach was used. Seven visits (2.75%) of *Xylocopa* sp. bees (effective pollinator) and 240 visits (95.66%) of other bees considered illegitimate visitors were recorded. Regarding the influence of stigma displacement on visitor frequency, it was observed that bees have no preference for either floral morph when choosing foraging sites. And that corolla size does not influence visitor frequency.

KEYWORDS: *Senna rugosa*; Enantiostyly; Pollination.

1 | INTRODUÇÃO

Ao longo do processo evolutivo as plantas desenvolveram diferentes estratégias para alcançar o sucesso reprodutivo, sendo a polinização o serviço ecossistêmico fundamental para a manutenção das espécies (IMPERATRIZ-FONSECA, 2012). Dentre estas estratégias, alguns grupos tornaram-se extremamente seletivos, sendo necessário o auxílio de polinizadores especificamente efetivos para o sucesso na polinização. Um grupo que possui tais características são as espécies pertencentes ao gênero *Senna* Mill.

O gênero *Senna* Mill. apresenta características singulares em suas flores que são determinantes para esse sucesso reprodutivo (BARRETT, 2002). Dentre estas características destaca-se a enantiostilia, um polimorfismo floral que está diretamente relacionado ao processo de polinização cruzada (BARRETT, 2000). A enantiostilia, é um

polimorfismo floral definido a partir da curvatura do estilete para a direita (*R - morph*) ou para a esquerda (*L - morph*) em relação ao eixo floral. Os indivíduos com enantiostilia podem ser classificados em: monomórficos, quando apresentam os dois morfos florais em um mesmo indivíduo, na mesma população; ou dimórficas, quando o morfo direito e o morfo esquerdo estão em indivíduos distintos, na mesma população (BARRETT *et al.*, 2000; BARRETT, 2002).

Funcionalmente, a enantiostilia é considerada um polimorfismo complementar, ou seja, quando espécies enantiostílicas de um morfo são visitadas por abelhas, o pólen é depositado em diferentes partes do corpo do inseto, e ao chegar em outra flor de morfo oposto o pólen é captado pelo estigma, sugerindo que a posição do polinizador durante a visita é extremamente importante para o sucesso reprodutivo da espécie (BARRETT *et al.*, 2000; WESTERKAMP, 2004). Por isso, a enantiostilia é considerada um polimorfismo floral que aumenta as taxas de polinização cruzada, tendo em vista que ao visitarem flores de diferentes morfos os visitantes ocasionalmente tocam o estigma da flor oposta possibilitando o sucesso reprodutivo da espécie (JESSON; BARRETT, 2002). Porém, além da posição adequada das abelhas, faz-se necessário que estas comportem-se também de maneira específica para a captação do pólen, como vibrar o seu corpo ao agarrar as anteras permitindo a liberação do pólen (BUCHMANN; HURLEY, 1977). Esse comportamento denominado "*Buzz pollination*" ou polinização por vibração é comum em flores que ofertam somente pólen aos seus visitantes (BUCHMANN; HURLEY, 1977; BUCHMANN, 1983).

Apesar de esperar-se que as vibrações e o comportamento das abelhas sejam eficientes para uma polinização bem sucedida, sabe-se também que estes padrões são moldados a partir da morfologia dos estames das angiospermas, ou seja, estes influenciam diretamente na liberação do pólen por vibração, podendo ser em maior ou menor quantidade (HARDER; BARCLAY, 1994; KING; BUCHMANN, 1996). Por isso, muitas plantas desenvolveram anteras com diferentes funções na tentativa de efetivar a reprodução das espécies, o que é chamado de heteranteria (VALLEJO-MARÍN *et al.* 2009). A heteranteria é a presença de mais de um tipo de estames com funções distintas, ocorrendo em vários grupos taxonômicos (MULLER, 1883; JESSON; BARRETT, 2003). Ela está comumente associada a flores enantiostílicas que ofertam apenas pólen aos seus visitantes, que geralmente são abelhas coletoras capazes de vibrar os estames para a captação de pólen (JESSON; BARRETT, 2003).

Diante disso, neste estudo buscamos responder às seguintes questões: 1. O posicionamento do estigma e o tamanho das estruturas florais (pétala e antera) influenciam a frequência de visitantes? Hipotetizamos que: 1. O posicionamento do estigma não terá influência na frequência dos visitantes, sendo que as abelhas visitarão flores esquerdas e direitas aleatoriamente. 2. O tamanho das estruturas florais influenciará diretamente na frequência de visitantes, sendo que haverá mais visitas em flores com estruturas (pétala e antera) maiores.

2 | METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Araripe-Apodi (Flona Araripe-Apodi) localizada no nordeste brasileiro. Abrange cerca de 40 mil hectares localizada nas coordenadas entre o Ceará e o Pernambuco (39°13'28" e 39°36'33" de longitude oeste e 07°11'42" e 07°28'38" de latitude sul), sendo a primeira unidade de conservação (UC) dessa categoria no Brasil. Sua vegetação é classificada como cerrado (COUTINHO, 1978; RIBEIRO; WALTER, 1998), com clima tropical chuvoso, segundo a classificação de Koppen com média anual de 25° C (MENDONÇA *et al.*, 2010). Os solos dessa área são do tipo latossolo amarelo e vermelho-amarelo, com boa profundidade e drenagem, com a presença de ácidos e alumínio tóxico e baixa fertilidade, características comuns em ambientes de cerrado (BEZERRA, 2004). Esta é a única área de cerrado preservada no Ceará inserida no semiárido da Caatinga (COSTA; ARAÚJO, 2007).

2.2 Espécie estudada

O gênero *Senna Mill.* é um dos maiores da tribo Cassiinae e possui cerca de 200 espécies distribuídas nas américas (Irwin & Barneby, 1982). A espécie estudada foi *Senna rugosa* (G.Don) H.S. Irwin & Barneby possui flores enantiostilílicas monomórficas, assimétricas, com a pétala inferior assimétrica e oposta ao estigma. Possuem estames com três tipos estruturais distintos, sendo alguns mais longos, os médios localizados na parte central da flor e três estaminódios na parte adaxial. Além disso, esta espécie apresenta anteras grandes com poros apicais e o estigma é desviado para o lado (AMORIM ET AL. 2019; DANTAS; SILVA, 2013; BARRETT; 2002; BARRETT, 2000; GOTTSBERGER; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 1988;).

2.3 Caracterização dos morfos e frequência de visitas

Para mensurar a preferência dos visitantes entre flores de diferentes morfos florais (direito ou esquerdo) foram realizadas 131 horas de observações focais em 56 flores intactas distribuídas entre 30 indivíduos. As observações ocorreram de 8 às 17 horas, em três dias consecutivos. Durante as observações foram verificadas a frequência, comportamento, horário e duração de visitas.

2.4 Tamanho das estruturas florais e frequência de visitas

Para mensurar as dimensões das anteras e corola foram marcados três flores distribuídas em 30 indivíduos. Como critério de escolha, as flores necessitavam ser do dia e estarem iniciando sua antese, evitando assim que estas já tenham sido visitadas. Estas flores foram fotografadas com vista frontal e superior, padronizando-as em um suporte de papel cartão com uma régua ao lado usada como escala. A área das estruturas florais (corola e anteras) foram medidas com o *software* ImageJ 5.0 (Soft Imaging System GmbH,

Munster, Germany).

2.5 Análise de dados

Para verificar a associação entre o tamanho das estruturas florais (anteras e corola) com a preferência de visitantes foi utilizada a análise de variância através da abordagem de modelos lineares generalizados (GLM/MANOVA). Todos os pressupostos foram analisados. As análises foram realizadas usando o pacote estatístico Statistica 7.0 (STATSOFT, TULSA, OK, USA).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as observações, ocorreram sete visitas (2,75%) de abelhas *Xylocopa* sp. que é considerada o polinizador efetivo em *Senna rugosa*, tendo em vista o seu grande porte e seu comportamento de agarrar as anteras com suas pernas e vibrarem, liberando assim os grãos de pólen que é depositado em seu abdômen e captado pelo estigma. Ocorreram também 243 visitas (95,66%) de outras abelhas, dentre elas *Trigona* sp., *Tretragonisca* sp., *Auglocora* sp. e principalmente de *Plebeia droryana* (Figura 1), espécies consideradas visitantes ilegítimos, tendo em vista que durante a visita, estes contactam o estigma apenas ocasionalmente e tendem a não realizar a polinização efetiva (FREITAS, 2018). Além disso, essas abelhas possuem o comportamento “vasculhatório”, ou seja, caminham pelas anteras e pétalas em busca de pólen para alimentação e não alcançam o estigma, esse comportamento também foi visto em outros estudos, como o de Souza, Coutinho e Funch (2012).

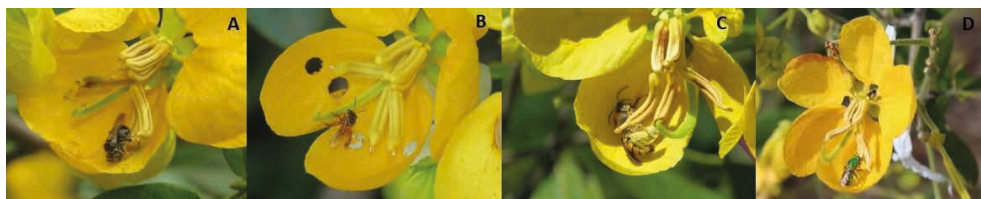


Figura 1: Visitantes ilegítima vasculhando as estruturas florais de *Senna rugosa*, sendo A: *Plebeia droryana*; B: *Tetragonisca* sp.; C: *Trigona* sp.; D: *Augochora* sp.

Com relação à influência do morfo floral (direito ou esquerdo) na frequência dos visitantes, observou-se que abelhas não possuem preferência por um dos morfos florais durante a escolha para forrageamento ($F = 0,9$; $p > 0,05$).

O tamanho da corola não teve influência na frequência de visitas ($F = 2,7$; $p < 0,05$). Para Galen (1999), o tamanho das flores pode ser sinônimo de atração para visitantes legítimos e ilegítimos, porém há estudos que afirmam que estas características são pouco atraentes para os visitantes florais, tendo em vista que as espécies florísticas investem

em outras estratégias para a atração de abelhas, como a produção maior de flores e a manutenção de flores velhas, que compõem o *display* floral (ANDERSSON, 1994).

Com relação à influência do tamanho das anteras na frequência de visita das abelhas encontramos que esta característica influenciou diretamente na escolha dos visitantes ilegítimos ($F= 9,5; p > 0,5$), no qual anteras com maior tamanho receberam maior número de visitas (Figura 2). Esse aumento significativo pode estar associado à presença de osmóforos do ápice à base das anteras e da grande absorção de luz ultravioleta nessa área, características que são consideradas atrativas às abelhas (OLIVEIRA *et al.* 2021).

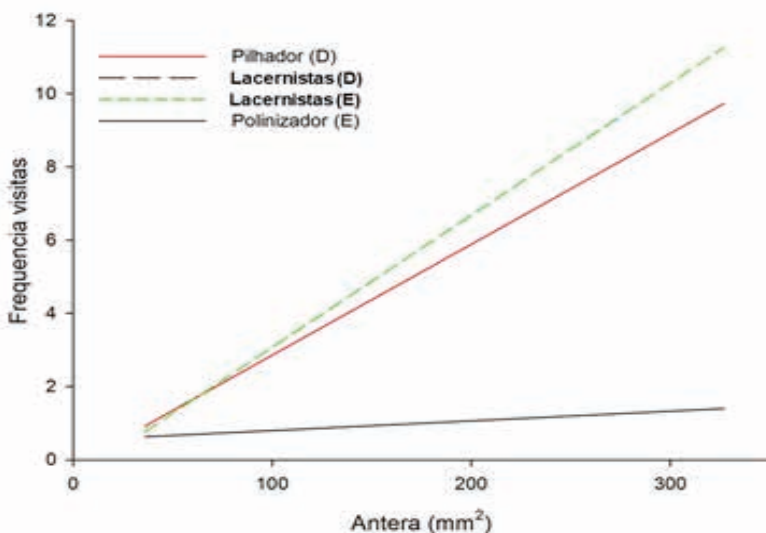


Gráfico 1: Preferência dos visitantes florais.

Conjuntamente, essa preferência pode estar associada a outros fatores equivalentes ao tamanho das anteras, absorção de luz ultravioleta nessa área, a quantidade de recurso ofertada, e a visita antecedente de polinizadores efetivos, tendo em vista que os visitantes ilegítimos registrados durante as observações possuíam o comportamento “vasculhatório”, ou seja, buscavam pólen deixando entre as anteras e pétalas (OLIVEIRA *et al.* 2021;). Além da parte central da flor, onde geralmente localiza-se as anteras, as flores de cor amarela, por si só, desempenham papel importante na atração desses animais, tendo em vista que, estas possuem grande faixa de absorção de luz ultravioleta que atrai as abelhas por aprendizagem ou por instinto (CHITTKA, 1996, LUNAU *et al.*, 2000).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo investigamos a influência das flores esquerdas e direitas com diferentes dimensões estruturais (pétala e antera) na atração de visitantes. Diante disso, sabemos que em *Senna rugosa*, flores com anteras maiores influenciam diretamente na frequência de visitantes ilegítimos, enquanto que o deslocamento do estilete não influencia. Portanto, concluímos que este estudo trouxe uma importante contribuição para o entendimento dos critérios de escolha de visitantes florais na espécie *Senna rugosa*, que podem auxiliar em estratégias de manejo e conservação destas interações com alto grau de especialização.

REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, S. **Floral stability, pollination efficiency, and experimental manipulation of the corolla phenotype in *Nemophila menziesii* (Hydrophyllaceae)**. *American Journal of Botany*, v. 81, n. 11, p. 1397-1402, 1994.
- AMORIM, T. M.; SOARES, A. A.; WESTERKAMP, C. Mais sobre polinização por zumbido - o pólen ricocheteia em flores assimétricas. In: **Assimetria em Plantas**. CRC Press, 2019. p. 333-354.
- BARRETT, S. C. H. The evolution of plant sexual diversity. **Nature Reviews Genetics**, v. 3, n. 4, p. 274-284, 2002.
- BARRETT, S. C. H.; JESSON, L. K.; BAKER, A. M. **The evolution and function of stylar polymorphisms in flowering plants**. *Annals of Botany*, v. 85, n. suppl_1, p. 253-265, 2000.
- BEZERRA, F. W. B. **Plano de manejo da floresta nacional do araripe**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, p. 318, 2004.
- BUCHMANN, S. L. **Buzz pollination in angiosperms**. p. 73-113, 1983.
- BUCHMANN, S. L.; HURLEY, J. P. **Um modelo biofísico para polinização por zumbido em angiospermas**. *Journal of Theoretical Biology*, v. 72, n. 4, pág. 639-657, 1978.
- CHITTKA, L. **Optimal sets of color receptors and color opponent systems for coding of natural objects in insect vision**. *Journal of Theoretical Biology*, v. 181, n. 2, p. 179-196, 1996.
- COSTA, I. R.; ARAÚJO, F. S. **Organização comunitária de um enclave de cerrado sensu stricto no bioma Caatinga, chapada do Araripe, Barbalha, Ceará**. *Acta Botanica Brasilica*, v. 21, n. 2, p. 281-291, 2007.
- COUTINHO, L. M. **O conceito de bioma**. *Acta botanica brasílica*, v. 20, p. 13-23, 2006.
- DANTAS, M. M.; SILVA, M. J. **O gênero *Senna* Mill. (Leguminosae, Caesalpinioideae, Cassieae) no Parque Estadual da Serra Dourada, GO, Brasil**. *Hoehnea*, v. 40, n. 1, p. 99-113, 2013.
- GALEN, C. **Why do flowers vary? The functional ecology of variation in flower size and form within natural plant populations**. *Bioscience*, v. 49, n. 8, p. 631-640, 1999.

GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. **Evolution of flower structures and pollination in Neotropical Cassiinae (Caesalpinioideae) species.** *Phyton*, v. 28, n. 2, p. 293-320, 1988.

HARDER, L. D.; BARCLAY, R. M. R. **The functional significance of poricidal anthers and buzz pollination: controlled pollen removal from Dodecatheon.** *Functional Ecology*, p. 509-517, 1994.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. et al. 1. Polinizadores e Polinização—um Tema Global. **Polinizadores no Brasil-contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**, p. 25, 2012.

IRWIN, H. S.; BARNEBY, R. S. **The American cassiinaea synoptical revision of leguminosae tribe cassieae subtribe cassiinae in the New World**, 1982.

JESSON, L. K.; BARRETT, S. C. H. **The comparative biology of mirror-image flowers.** *International Journal of Plant Sciences*, v. 164, n. 5, p. 237-249, 2003.

KING, M. J.; BUCHMANN, S. L. **Sonication dispensing of pollen from *Solanum laciniatum* flowers.** *Functional Ecology*, p. 449-456, 1996.

LUNAU, K. **The ecology and evolution of visual pollen signals.** *Plant Systematics and Evolution*, v. 222, n. 1-4, p. 89-111, 2000.

MÜLLER, F. **Two kinds of stamens with different functions in the same flower.** *Nature*, v. 27, n. 694, p. 364-365, 1883.

MENDONÇA, L.A. R. et al. **Identificação de mudanças florestais por 13C e 15N dos solos da Chapada do Araripe, Ceará.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 314-319, 2010.

OLIVEIRA, A. C. S. et al. **Attraction of florivores and larcenists and interaction between antagonists in *Senna rugosa* (Fabaceae).** *Arthropod-Plant Interactions*, p. 1-10, 2021.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado.** Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE), 1998.

SOUZA, I. M.; COUTINHO, K.; FUNCH, L. S. **Estratégias fenológicas de *Senna cana* (Nees & Mart.) HS Irwin & Barneby (Fabaceae: Caesalpinioideae) como mecanismo eficiente para atração de polinizadores.** *Acta Botanica Brasilica*, v. 26, n. 2, p. 435-443, 2012.

VALLEJO-MARÍN, M. et al. Trait correlates and functional significance of heteranthy in flowering plants. **New Phytologist**. v. 188, n. 2, p. 418-425, 2010.

VALLEJO-MARÍN, M. et al. **Division of labour within flowers: heteranthy, a floral strategy to reconcile contrasting pollen fates.** *Journal of evolutionary biology*, v. 22, n. 4, p. 828-839, 2009.

WESTERKAMP, C. **Ricochet pollination in *Cassias*—and how bees explain enantiostyly. Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, p. 225-230, 2004.