

**LAÍS ANGÉLICA DE ANDRADE PINHEIRO BORGES**

**FENOLOGIA E BIOLOGIA REPRODUTIVA DO PAU-BRASIL**  
*(Caesalpinia echinata Lam., LEGUMINOSAE –*  
**CAESALPINIOIDEAE) EM REMANESCENTE DE FLORESTA**  
**ATLÂNTICA SEMIDECIDUAL EM PERNAMBUCO**

**RECIFE**

**2006**

**LAÍS ANGÉLICA DE ANDRADE PINHEIRO BORGES**

**FENOLOGIA E BIOLOGIA REPRODUTIVA DO PAU-BRASIL  
(*Caesalpinia echinata* Lam., LEGUMINOSAE –  
CAESALPINIOIDEAE) EM REMANESCENTE DE FLORESTA  
ATLÂNTICA SEMIDECIDUAL EM PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ariadna Valentina Lopes

**RECIFE**

**2006**

**Borges, Laís Angélica de Andrade Pinheiro**  
**Fenologia e biologia reprodutiva do Pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.,  
Leguminosae-Caesalpinioideae) em remanescente de floresta atlântica  
semidecidual em Pernambuco/ Laís Angélica de Andrade Pinheiro Borges.**  
– Recife: O Autor, 2006

**47 folhas: tab.**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de  
Pernambuco. CCB. Ciências Biológicas, 2009.**

**Inclui bibliografia**

**1. Pau-brasil. 2. Fenologia vegetal. 3. Biologia floral. 4.  
Plantas-reprodução 5. Pernambuco-floresta atlântica | Título.**

**582.738  
581**

**CDU (2.ed.)  
CDD (22.ed.)**

**UFPE  
CCB – 2009- 78**

LAÍS ANGÉLICA DE ANDRADE PINHEIRO BORGES

“FENOLOGIA E BIOLOGIA REPRODUTIVA DO PAU-  
BRASIL (*Cesalpinia echinata* Lam.- Leguminosae,  
Caesalpinioideae) EM REMANESCENTE DE FLORESTA  
ATLÂNTICA SEMIDECIDUAL EM PERNAMBUCO”

BANCA EXAMINADORA:

*Ariadna Valentina de F. e Lopes*

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Ariadna Valentina de Freitas e Lopes (Orientadora)-UFPE

*Isabel Cristina Machado*

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Isabel Cristina Sobreira Machado - UFPE

*Paulo Eugênio Oliveira*

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. PAULO EUGÊNIO OLIVEIRA - UFU

Recife-PE.  
2006

“As árvores são fáceis de achar  
Ficam plantadas no chão  
Mamam do céu pelas folhas  
E pela terra  
Também bebem água  
Cantam no vento  
E recebem a chuva de galhos abertos  
Há as que dão frutas  
E as que dão frutos  
As de copa larga  
E as que habitam esquilos  
As que chovem depois da chuva  
As cabeludas, as mais jovens mudas  
As árvores ficam paradas  
Uma a uma enfileiradas  
Na alameda  
Crescem pra cima como as pessoas  
Mas nunca se deitam  
O céu aceitam  
Crescem como as pessoas  
Mas não são soltas nos passos  
São maiores, mas  
Ocupam menos espaço  
Árvore da vida, árvore da vida / árvore querida  
Perdão pelo coração  
Que eu desenhei em você  
Com o nome do meu amor”

(As árvores – Arnaldo Antunes / Jorge Ben Jor - 1998)

**Dedico este trabalho às árvores**

## AGRADECIMENTOS

Difícil encontrar as palavras que representem exatamente o quanto sou agradecida a todos que me ajudaram, direta ou indiretamente, em mais uma etapa de muito aprendizado, profissional e pessoal, que foi esse mestrado. E pensar que em um certo momento eu tenha sofrido tanto com a incerteza de conseguir concluí-lo... Não fossem algumas pessoas, não imagino que eu teria conseguido chegar até aqui...

Não fosse a Ariadna, por exemplo, onde será que eu estaria agora, ou melhor, onde será que eu não estaria? Minha querida orientadora, não tenho palavras que expressem o quanto sou agradecida pela sua aceitação (há menos de um ano!) e acolhida, e, principalmente, pela sua tão excepcional orientação. Admiro muito o seu entusiasmo e a sua determinação. À você, meu muito obrigada, sempre.

Minha querida “irmãzinha do coração”, Mell, também não sei como expressar o quanto sou agradecida e feliz por tê-la em minha vida. Você foi parte essencial desses dois anos, desde o incentivo e ajuda no período da seleção à finalização do trabalho. Não fosse você, eu não teria vindo, passado, conseguido aceitar e enfrentar a mudança que ocorreu depois de um ano e não teria finalizado tudo. Afinal, o que seria de mim sem você? ☺

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), através do Prof. Marco Antônio Araújo de Andrade, Pró-Reitor dos *Campi* Avançados da referida instituição, e do Sr. Paulo Martins, Zootecnista e Administrador da Estação Ecológica do Tapacurá, pela permissão e apoio à realização da pesquisa na citada propriedade, sob sua responsabilidade. Aos trabalhadores da Estação, especialmente Maria e Nado, pela inestimável ajuda que deram ao trabalho.

À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida e ao Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste (CEPAN), ao CNPQ, à Conservation International do Brasil (CI-Brasil), à FAPESP e à Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, pelo apoio financeiro. À Profa. Dra. Eliana Akie Simabukuro por ter possibilitado o apoio financeiro via Projeto Temático financiado pela FAPESP (coordenado pela Profa. Dra. Rita de Cássia Leone Figueiredo-Ribeiro-IBt-SP) e ao Prof. Dr. Marcelo Tabarelli que coordenou projetos de pesquisa financiados pelas demais instituições citadas, cuja atenção e apoio foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Sr. Gilcean, pelo valioso auxílio e pelos momentos alegres no trabalho de campo.

Às Mestres Ana Virgínia Leite e Tarcila Nadia, pelas orientações e ajuda no trabalho de laboratório, além da afetuosa companhia e amizade.

A Marcos Meiado (Marquito, ex-garoto pau-brasil), pela inestimável amizade, ajuda e compartilhamento sobre o “nosso amigo”.

Aos Profs. Drs. André Freitas (Unicamp), pela identificação das borboletas e Fernando Zanella (UFPB), pela identificação das abelhas.

Ao Prof. Dr. Marcelo Guerra, por permitir a realização de parte do trabalho no Laboratório de Citogenética.

Aos Profs. Drs. Isabel Cristina Machado, Paulo Eugênio Oliveira, Marcelo Guerra e José Alves de Siqueira Filho, pelos aceites para participar da banca desta dissertação. Suas críticas e sugestões serão fundamentais para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos colegas da Pós, em especial aos da minha turma, Gabi, Paulo, Tarcila, Luciana, Sandra, Rose, Isabela e Fábio, e aos colegas do CCB, pelos momentos de crescimento profissional e pessoal.

Aos professores e funcionários do PPGBV, pelo apoio e crescimento que proporcionaram.

Ao Prof. Dr. Marccus Alves, pelos primeiros passos no mestrado.

Aos colegas dos Laboratórios de Biologia Floral e Reprodutiva e de Anatomia Vegetal, pela convivência agradável e enriquecedora, pelos momentos de trabalho e também pelos de descontração.

Ao MSc. Antônio Venceslau de Aguiar Neto (Patriota), pela aquisição de várias referências bibliográficas.

Ao Prof. Martinho, pelo incentivo e esclarecimentos sobre a vida acadêmica.

Finalmente, não poderia deixar de agradecer a minha família e amigos, sem os quais, certamente, eu não teria tido condições materiais e emocionais de chegar até aqui. A papai, Ângelo, Luly e Vozinha, muito obrigada. A minha querida mãezinha, mãe, amiga e provedora, meu agradecimento especial: a senhora é tudo. À Rochele, minha irmã, que, apesar da distância, está sempre presente em minha vida. À Rose, companheira e professora, que me ajudou e me ensinou tanto, além dos inúmeros momentos de alegria. A Cintiazinha e Léo, pelo constante apoio e amizade. À Dan, pelos bons momentos fora da vida acadêmica, também essenciais ao meu crescimento. E às amigas cearenses: Ferdinanda, Helinha, Jaci, Lu, Mell, Samantha, Sandrete e às recém-chegadas Alê e Halana (bem-vindas!), meu muito obrigada por tudo.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
APRESENTAÇÃO .....	01
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	02
Histórico de exploração e estudos sobre a biologia do pau-brasil .....	02
Polinização e sistema reprodutivo em Leguminosae – Caesalpinioideae, com ênfase em <i>Caesalpinia</i> L.....	03
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	08
MANUSCRITO A SER ENVIADO AO PERIÓDICO BIOTROPICA .....	11
Fenologia e biologia reprodutiva do pau-brasil ( <i>Caesalpinia echinata</i> Lam., Leguminosae – Caesalpinioideae) em remanescente de Floresta Atlântica Semidecidual em Pernambuco .....	12
RESUMO .....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUÇÃO .....	16
MÉTODOS .....	17
RESULTADOS .....	19
DISCUSSÃO .....	23
AGRADECIMENTOS .....	28
LITERATURA CITADA .....	28
TABELAS .....	33
LEGENDAS DAS FIGURAS .....	36
FIGURAS .....	37
RESUMO .....	41
ABSTRACT .....	42
ANEXO .....	44

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Fenologia vegetativa (A) e reprodutiva (B) de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesapinioideae) ocorrente em um remanescente de Floresta Atlântica Semidecidual da Estação Ecológica do Tapacurá, São Lourenço da Mata, PE. .... 36
- FIGURA 2. Flores de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesapinioideae): (A) inflorescência; (B) vista frontal da flor; (C) flor após teste com hidróxido de amônia para detecção de áreas de absorção de raios ultra-violeta (comparar áreas coradas com cores da figura B); (D-E) flores submetidas à coloração com vermelho neutro evidenciando áreas emissoras de odor (D) e nectário floral (E); (F) vista superior de flor sem pétalas e sépalas evidenciando aberturas para acesso ao nectário localizadas entre os estames. .... 37
- FIGURA 3. Estigma, grãos de pólen, óvulos e tubos polínicos de flores de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae) sob microscopia de fluorescência: (A) grãos de pólen no estigma (notar franja no ápice do mesmo); (B) estigma (notar câmara estigmática); (C) tubo polínico oriundo de polinização cruzada penetrando óvulo 16 horas após o tratamento; (D) tubo polínico oriundo de auto-polinização manual penetrando óvulo 24 horas após o tratamento. .... 38
- FIGURA 4. Visitantes florais de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesapinioideae) observados em remanescente de Floresta Atlântica Semidecidual da Estação Ecológica do Tapacurá, PE. : *Apis mellifera* (A) e *Xylocopa frontalis* (B-C) coletando néctar; *Trigona spinipes* pilhando néctar após perfurar a base do cálice (D) e coletando pólen (E). .... 39

## LISTA DE TABELAS

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:

TABELA 1 - Espécies de <i>Caesalpinia</i> estudadas quanto a aspectos da biologia reprodutiva e ecologia da polinização.....	6
--	---

### MANUSCRITO:

TABELA 1. Número médio de grãos de pólen e viabilidade polínica de acordo com o tipo de estame/antera e por flor e razão pólen/óvulo (P/O) de indivíduos de <i>Caesalpinia echinata</i> Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae) (Nº de óvulos/flor = 2) ocorrentes na Estação Ecológica do Tapacurá, São Lourenço da Mata, PE. ....	32
TABELA 2. Visitantes florais de <i>Caesalpinia echinata</i> Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae) com respectivos comprimentos corporais, recurso(s) coletado(s) e caracterização do comportamento de visita, em um remanescente de Floresta Atlântica Estacional Semidecidual no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. ....	33
TABELA 3. Formação de frutos após tratamentos de polinização controlada (auto-polinização espontânea, auto-polinização manual e polinização cruzada) e sob condições naturais (controle) em indivíduos de <i>Caesalpinia echinata</i> Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae) ocorrentes na Estação Ecológica do Tapacurá, São Lourenço da Mata, PE. ....	34

## APRESENTAÇÃO

*Caesalpinia echinata* Lam., “pau-brasil”, é uma Leguminosae arbórea, nativa da Floresta Atlântica brasileira, com distribuição original do Rio Grande do Norte ao Rio de Janeiro, apresentando grande valor histórico e econômico para o Brasil (Souza 1939, Lewis 1998, Bueno *et al.* 2002). O próprio nome do país foi decorrente de sua exploração, que ocorreu intensamente desde o início do processo de colonização pelos portugueses, primeiramente para a extração de corante vermelho de sua madeira, posteriormente para a fabricação, principalmente, de arcos de violino (Dean 1996, Lewis 1998, Lorenzi 2002, Rymer 2004). Associado ao uso irracional, a espécie sofreu ainda com a fragmentação e a perda de habitat às quais a Floresta Atlântica brasileira foi sujeita (Cunha e Lima 1992, Galindo-Leal e Câmara 2003). Tais foram os níveis de pressão sobre *C. echinata* que a espécie foi incluída na Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção (IBAMA 1992).

Apesar desse *status*, já conhecido há bastante tempo, uma vez que a espécie já chegou a ser declarada extinta na natureza antes do reencontro de populações naturais remanescentes (Souza 1939), apenas recentemente tem havido, por parte da comunidade científica, esforços no sentido de obter informações sobre diversos aspectos de sua biologia (Lima *et al.* 2002), conhecimento essencial para a conservação de espécies (Primack e Rodrigues 2001).

Com relação à biologia reprodutiva, por exemplo, vários estudos chamam a atenção de que muito pouco é conhecido (Cunha e Lima 1992, Cardoso *et al.* 1998; Lewis 1998; Lira *et al.* 2003), sendo essa uma das áreas de estudo mais relevantes para a compreensão das relações ecológicas e evolutivas de uma espécie (Endress 1994) e, portanto, essencial para o planejamento de ações para a conservação biológica (Murcia 1995).

Deste modo, essa dissertação apresenta e discute resultados acerca da fenologia, da biologia floral, da ecologia da polinização e do sistema e sucesso reprodutivos do pau-brasil, provenientes de pesquisa realizada em local de ocorrência natural da espécie.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Histórico de exploração e estudos sobre a biologia do pau-brasil

A descoberta do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) e de suas propriedades tintoriais foi responsável pelo início do processo de colonização e pelo nome do Brasil (Cunha e Lima 1992). Não sendo encontrados, a princípio, recursos considerados mais valiosos, como metais preciosos, a espécie foi a primeira fonte de riqueza explorada pelos colonizadores (Dean 1996). Sua exploração intensiva e ininterrupta ocorreu por mais de três séculos, até 1857, quando se iniciou a fabricação dos corantes artificiais, através de processos menos dispendiosos e, portanto, mais lucrativos (Souza 1939). Apesar de sua exploração para fins tintureiros não ser mais necessária, sua madeira ainda é bastante apreciada pela inigualável qualidade para a fabricação de arcos de violinos (Lorenzi 2002, Rymer 2004).

Além de ter sido fator determinante tanto para a fixação de muitos dos principais núcleos populacionais colonizadores quanto para o início do extermínio dos povos indígenas que já habitavam anteriormente este território, bem como ter contribuído para o enriquecimento de diversos países europeus, a exploração do pau-brasil foi também a causa inicial da devastação da Floresta Atlântica brasileira (Cunha e Lima, 1992, Dean 1996). Detentora de uma mega-diversidade biológica, a Floresta Atlântica apresenta hoje menos de 8% da sua cobertura original (Galindo-Leal e Câmara 2003). O seu trecho mais interiorano (semidecidual), onde o pau-brasil ocorre com maior frequência, encontra-se ainda mais devastado e comprometido do que as formações litorâneas, devido ao terreno plano, propício à passagem de máquinas (Dean 1996, Janzen 1997).

O destino da espécie não foi, portanto, melhor que o da Floresta Atlântica: sua exploração predatória e a referida perda de habitat decorrente da devastação da Floresta Atlântica, principalmente no trecho semidecidual (Janzen 1997), levaram-na a ser considerada extinta no início do século XX (Souza 1939). Porém, ainda no mesmo século foram descobertos alguns poucos remanescentes naturais de Floresta Atlântica onde a espécie ainda ocorre (Souza 1939) e hoje o pau-brasil encontra-se na Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção (IBAMA 1992).

Felizmente, após esforços isolados, vários são os estudos que recentemente abordam aspectos da biologia da espécie, a exemplo dos de Cardoso *et al.* (1998) e Lira *et al.* (2003), acerca da variabilidade genética em algumas populações, Barbedo *et al.* (2002), com enfoque

em aspectos do armazenamento e da tolerância à dessecação de sementes, e Corrêa (2003), sobre morfologia polínica. Tais estudos, em conjunto, poderão fundamentar a elaboração de estratégias para a sua conservação.

Mesmo com o crescente conhecimento sobre a espécie, muitas informações ainda não foram devidamente investigadas, como é o caso de sua biologia reprodutiva, sobre a qual muito pouco se conhece, fato reiterado por Cardoso *et al.* (1998), Lima *et al.* (2002) e Lira *et al.* (2003), em seus referidos estudos.

Com grande importância histórica, a espécie também apresenta valor ornamental e possui potencial medicinal (Lewis 1998, Lorenzi 2002), motivos adicionais para reunir esforços para a sua proteção.

### **Polinização e sistema reprodutivo em Leguminosae – Caesalpinioideae, com ênfase em *Caesalpinia* L.**

*Caesalpinia* é um gênero pantropical com aproximadamente 120 a 130 espécies (Lewis 1998). Os limites do gênero ainda são incertos e dependem de futuros estudos para melhor compreender os relacionamentos entre os diversos grupos com afinidades morfológicas (ver Lewis 1998).

Pertence à Leguminosae (subfamília Caesalpinioideae), uma das maiores famílias de angiospermas, a qual é amplamente distribuída por todo o mundo e apresenta grande importância econômica e ecológica (Leppik 1966). Com forte irradiação adaptativa de suas síndromes florais, a família apresenta espécies psicófilas, esfingófilas, quiropterófilas e ornitófilas, sendo principalmente melitófila (Vogel 1990, Endress 1994). De um modo geral, as espécies melitófilas de Leguminosae podem ser classificadas como “generalistas”, pois um grande espectro de abelhas atua como visitante floral, sendo incomum a dependência de um número limitado de abelhas (Arroyo 1981).

No que diz respeito ao sistema sexual, o hermafroditismo predomina, sendo a dioícia pouco comum na família, com a maioria dos casos verificada em Caesalpinioideae; andromonoícia foi verificada para algumas Caesalpinioideae, poucas Papilionoideae e aproximadamente metade das Mimosoideae (Arroyo 1981). Auto-incompatibilidade genética foi registrada em espécies das três subfamílias, embora em proporções diferentes, sendo mais comum em Caesalpinioideae e Mimosoideae do que em Papilionoideae (Endress 1994). A

ocorrência de apomixia foi observada em apenas um gênero (*Cassia*, na Austrália) (Arroyo, 1981).

Com relação a Caesalpinioideae, em um contexto ecológico, suas flores são menos especializadas do que as das outras duas subfamílias (Arroyo 1981). No entanto, apesar de suas flores serem referidas como não apresentando proteção ao recurso, estando este, portanto, mais facilmente disponível para visitantes que podem ser apenas oportunistas, isso não é bem verdade, uma vez que o néctar está escondido em todos os gêneros do grupo (Endress 1994). A unidade de atração pode ser a flor individual, inflorescências inteiras ou partes delas (Endress 1994). As flores vão de fracamente a altamente zigomorfas, no entanto, muitas vezes as metades não são verdadeiras imagens de espelho, como em *Chamaecrista*, em decorrência da enantiomorfia (Arroyo 1981, Endress 1994). De uma maneira geral, as Caesalpinioideae primitivas parecem contar com contrastes de cor entre anteras e pétalas, enquanto em gêneros avançados, guias de néctar claramente demarcados são evidentes, podendo incorporar padrões de reflexão-absorção de raios UV (Arroyo 1981, Kay 1987). Do mesmo modo que para a família, as espécies da subfamília são predominantemente melitófilas (Arroyo 1981).

Caesalpinioideae possui a maioria dos membros dióicos da família e um certo número de espécies andromonóicas, conforme referido anteriormente. Poucos membros foram testados com relação ao sistema reprodutivo, tendo sido verificada, entretanto, maior frequência de espécies auto-incompatíveis do que autocompatíveis (Arroyo 1981).

Com relação a *Caesalpinia*, estudos relacionados à ecologia da polinização e à biologia reprodutiva sugerem que os conjuntos de características florais no gênero podem estar estreitamente relacionados com o tipo de polinizador (Lewis e Gibbs 1999). Vogel (1990) refere-se à ocorrência de quatro tipos de flores para *Caesalpinia*, reflexo da irradiação adaptativa das síndromes florais nas angiospermas, havendo espécies melitófilas, psicófilas, esfingófilas e ornitófilas, assim como o observado para a família.

Dentre as 19 espécies para as quais há alguma informação acerca da biologia floral e/ou sistema reprodutivo, para 16 há referência sobre a síndrome de polinização, tendo sido a melitofilia a síndrome de polinização mais freqüente, sendo registrada em 11 espécies (*C. angulata*, *C. calycina*, *C. coluteifolia*, *C. coriaria*, *C. eriostachys*, *C. exilifolia*, *C. ferrea*, *C. nuga*, *C. paraguariensis* e *C. pyramidalis* e *C. pluviosa*). Dentre as cinco demais, uma é relatada como psicófila (*C. pulcherrima*), uma como esfingófila (*C. gilliesii*), duas são ornitófilas (*C. conzattii* e *C. exostema*) e uma ambófila (*C. crista* – vento e animal). Em todos

os casos onde se verificou o recurso floral primário oferecido, constatou-se que este foi o néctar (Tabela 1).

Poucas espécies do gênero foram analisadas com relação ao sistema reprodutivo (Lewis e Gibbs 1999). Das nove espécies para as quais há estudos, sete foram consideradas auto-incompatíveis (*C. calycina*, *C. coriaria*, *C. crista*, *C. eriostachys*, *C. nuga*, *C. pyramidalis* e *C. sclerocarpa*) e duas autocompatíveis (*C. caladenia* e *C. pulcherrima*) (Tabela 1). Foi encontrada andromonoiccia, em diferentes níveis, em nove das 13 espécies cujo sistema sexual foi avaliado (*C. caladenia*, *C. calycina*, *C. coluteifolia*, *C. coriaria*, *C. eriostachys*, *C. gilliesii*, *C. platyloba*, *C. pulcherrima* e *C. sclerocarpa*), as quatro demais tendo sido referidas como hermafroditas (*C. crista*, *C. ferrea*, *C. pluviosa* e *C. pyramidalis*) (Tabela 1).

Apesar de todo o contexto histórico e de exploração de *Caesalpinia echinata*, até o esgotamento de seus recursos e sua “extinção comercial” (Pádua 2000), não foram registrados estudos de biologia floral, ecologia da polinização e sistema reprodutivo para a espécie, temas que foram aqui investigados.

Tabela 1 – Espécies de *Caesalpinia* estudadas quanto a aspectos da biologia reprodutiva e ecologia da polinização.

Espécie	Tipo vegetacional - Local do estudo	Hábito	Sist.sex./ Reprod.*	Nº óvulos / Razão P:O / Viab. polin.	Nº sem.:fruto / Razão sem.:óvulo	% Form. fr.*	Recurso floral (vol e % açúcares)	Síndrome de polinização / Visitantes florais / Recurso coletado	Referência(s)
<i>C. angulata</i> (Hook & Arn.) Baillon	Chile	Não arbórea	-	-	-	-	-	Melitofilia	Cocucci <i>et al.</i> 1992
<i>C. caladenia</i> Standl.	Fl. Est. Dec. - México	Arbusto	AN / AC	-	-	18% - AM; 29% - CZ	-	-	Bullock 1985
<i>C. calycina</i> Benth.	Caatinga - Brasil	Arbusto	AN / AI (ação tardia)	1-6 (30% com 4 óvulos)	3.75 (N = 100) / 0.79	12.7% - CN	Néctar; 14.6 µL (5 - 35); 23.5% (19-30%)	Melitofilia / Polinizadores: <i>Xylocopa</i> <i>griseocens</i> , <i>X. frontalis</i> , <i>Xylocopa</i> sp., <i>Epicharis</i> sp. (n); Pilhadores: <i>Centris</i> spp., <i>Euglossa</i> sp., <i>Chlorostilbon</i> cf. <i>aueroventris</i> (n)	Lewis & Gibbs 1999
<i>C. coluteifolia</i> Griseb.	Argentina	Não arbórea	AN	-	-	-	Néctar; 52%	Melitofilia / Polinizadores: <i>Canephorula</i> <i>apiformis</i> , <i>Centris bicolor</i> , <i>C. brethesii</i> , <i>C.</i> <i>tricolor</i> , <i>Megachile</i> sp., <i>Xylocopa</i> sp.	Cocucci <i>et al.</i> 1992
<i>C. conzattii</i> (Rose) Standl.	-	Árvore	-	-	-	-	-	Ornitofilia / Beija-flor	Opler 1983
<i>C. coriaria</i> (Jacq.) Willd	Fl. Est. Dec. - México <sup>1</sup>	Árvore <sup>1</sup>	AN <sup>1</sup> / AI <sup>1</sup>	-	-	0.6% - AM <sup>1</sup> ; 36% - CZ <sup>1</sup>	-	Melitofilia <sup>2</sup>	1-Bullock 1985, 2-Endress 1994
<i>C. crista</i> L.	China	Liana	HF / AI	2 / 18000 ± 2 500 / 2 -3 dias	2	Vários	Néctar; 1.2 ± 0.7µL (0.55 – 2.8µL); 29 ± 5% (17-35%)	Ambofilia (vento/inseto) / Polinizadores: <i>Xylocopa sinensis</i> , <i>Xylocopa</i> sp. (n), além de várias outras espécies de outros gêneros (p)	Li <i>et al.</i> 2004
<i>C. eriostachys</i> Benth.	Fl. Est. Semidec. <sup>1,2</sup> / Dec. <sup>3</sup> - Costa Rica. Fl. Est. Dec. - México <sup>4</sup>	Árvore <sup>1,4</sup>	AN <sup>4</sup> / AI <sup>1</sup>	6.17 ± 0.05 <sup>3</sup>	2.82 ± 0.08 <sup>3</sup>	0% - AM <sup>1</sup> ; CZ: 10% <sup>1</sup> ; 40% <sup>3</sup> ; CN: 1% <sup>1</sup> , 0.98 <sup>3</sup>	-	Melitofilia / <i>Centris segregata</i> , <i>C.</i> <i>fasciatella</i> , <i>C. inermis</i> , <i>C. trigonoides</i> , <i>Gaeschia exul</i> , <i>Xylocopa fimbriata</i> , <i>Xylocopa</i> sp., <i>X.muscaria</i> , <i>Trigona</i> <i>fuscipennis</i> , <i>T. pectoralis</i> <sup>2</sup>	1-Bawa 1974, 2-Jones & Buchmann 1974, 3-Bawa & Webb 1984, 4-Bullock 1985
<i>C. exilifolia</i> Griseb.	Argentina	Não arbórea	-	-	-	-	Néctar; 75%	Melitofilia / <i>Xylocopa splendida</i>	Cocucci <i>et al.</i> 1992
<i>C. exostemma</i> Moc. & Sessé ex DC.	-	-	-	-	-	-	-	Ornitofilia / Beija-flor	Vogel 1990
<i>C. ferrea</i> Mart. ex Tul.	Caatinga - Brasil <sup>1,2</sup>	Árvore <sup>1,2</sup>	HF <sup>1</sup>	-	-	-	Néctar <sup>2</sup>	Melitofilia <sup>2</sup>	1-Machado <i>et al.</i> 2006, 2- Obs. pessoais

<i>C. gilliesii</i> (Wall. ex Hook.) Dietr.	Argentina <sup>2</sup>	Não arbórea <sup>2</sup>	AN <sup>2</sup>	7.6 (S = 0.58) <sup>2</sup> / 94,5% (masc.), 90,4% (herm.) <sup>2</sup>	-	12% - CN <sup>2</sup>	Néctar <sup>2</sup> ; 28%	Esfingofilia <sup>1,2</sup> / <i>Hyloicus maura</i> , <i>Phlegethontius sexta-paphus</i> , <i>Herse</i> <i>cingulata</i> , e 2 spp. de esfingídeos indet. <sup>2</sup>	1-Vogel 1990, 2-Cocucci <i>et al.</i> 1992
<i>C. nuga</i> (L.) W.T.Aiton	-	-	AI	-	-	-	-	Melitofilia / <i>Xylocopa</i> spp.	Aluri 1990
<i>C. paraguariensis</i> (Parodi) Burkart	Argentina	Árvore	-	-	-	-	Néctar; 54%	Melitofilia / <i>Xylocopa eximia</i>	Cocucci <i>et al.</i> 1992
<i>C. platyloba</i> S. Wats.	Fl. Est. Dec. - México	Árvore	AN	-	-	-	-	-	Bullock 1985
<i>C. pluviosa</i> DC. var. <i>sanfranciscana</i> G. P. Lewis	Caatinga - Brasil	Árvore	HF	4-7	3.72 (N = 50) / 0.65	4%	Néctar; 7.25µL (4- 12); 28.6% (23-35%)	Melitofilia / Polinizadores: <i>Xylocopa</i> <i>griseescens</i> , <i>X. frontalis</i> , <i>Centris</i> sp. (n); Pilhadores: <i>Trigona</i> sp. (p)	Lewis & Gibbs 1999
<i>C. pulcherrima</i> (L.) Sw.	Fl. Est. Dec. - México <sup>2,3</sup>	Arbusto <sup>1,3</sup> / Árvore <sup>2</sup>	AN <sup>2,3</sup> / AC <sup>3</sup>	-	-	32% - AM <sup>3</sup> ; 32% - CZ <sup>3</sup>	Néctar <sup>1,2</sup> ; 20% <sup>2</sup>	Psicofilia <sup>1,2</sup> / Papilionidae ( <i>Papilio</i> <i>demodocus</i> <sup>1</sup> , <i>Battus eracon</i> , <i>B. laodamas</i> <i>procas</i> , <i>B. montezuma</i> , <i>B. photinus</i> , <i>B.</i> <i>polydamas</i> , <i>Papilio cresphontes</i> , <i>P.</i> <i>pharnaces</i> <sup>2</sup> ; Pieridae ( <i>Ascia (Ganyra)</i> <i>amaryllis josepha</i> , <i>Phoebis agarithe</i> , <i>P.</i> <i>sennae</i> ) <sup>2</sup> ; Hesperíidae ( <i>Pyrrhopyge scylla</i> , <i>Phocides pigmalion bellus</i> , Nymphalidae ( <i>Anartia fatima</i> , <i>Dione vanillae incarnata</i> , <i>Dryas julia</i> , <i>D. junio huascana</i> ) <sup>2</sup> ; Heliconidae ( <i>Heliconius charitonius</i> ) <sup>2</sup>	1-Vogel 1954, 2-Crudén & Hermann-Parker 1979, 3- Bullock 1985
<i>C. pyramidalis</i> Tul.	Caatinga – Brasil <sup>2,3</sup>	Árvore <sup>3</sup>	HF <sup>2,3</sup> / AI <sup>3</sup> (ação tardia) <sup>3</sup>	5,7 ± 0,9 (4 - 7) <sup>3</sup>	2.08 ± 1,79 (1-6) <sup>3</sup> / 0.36 <sup>3</sup>	13% - CN <sup>3</sup>	Néctar <sup>3</sup> ; 1.0 µL <sup>3</sup> ; 26-50% <sup>3</sup>	Melitofilia <sup>1,2,3</sup> / Polinizadores: <i>Xylocopa</i> <i>frontalis</i> , <i>X. griseescens</i> , <i>Centris aenea</i> , <i>C.</i> <i>fuscata</i> , <i>C. tarsata</i> (abelhas) (n); Eventual polinizador: <i>Coereba flaveola</i> (ave); Pilhador/Eventual polinizador: <i>Urbanus</i> <i>protus</i> , <i>U. simplicius</i> , <i>Ascia monustre</i> (borboletas); Pilhadores: <i>Panoquina</i> sp. (n) (borboleta), <i>Aellopus titan</i> (n) (esfingídeo), <i>Amazilia</i> sp. (n) (ave)	1-Vogel 1990, 2-Machado <i>et al.</i> 2006, 3-Leite 2006
<i>C. sclerocarpa</i> Standl.	Fl. Est. Dec. - México	Árvore	AN / AI	-	-	0% - AM; 17% - CZ	-	-	Bullock 1985

\* AN: andromonóica; HF: hermafrodita; AC: auto-compatível; AI: auto-incompatível; AM: auto-polinização manual; CZ: polinização manual cruzada; CN: formação de frutos em condições naturais; n: néctar; p: pólen.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALURI, R. J. S. 1990. Studies on pollination ecology in India: A review. Proceedings of the Indian National Science Academy, Part B: Biological Sciences 56: 375-88.
- ARROYO, M. T. K. 1981. Breeding Systems and Pollination Biology in Leguminosae. In R. M. POLHILL, e P. H. RAVEN (Eds.) Advances in Legume Systematics, Part 2, pp.723-769. Royal Botanic Gardens, Kew.
- BARBEDO, C. J.; BILIA, D. A. C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. de C. L. 2002. Tolerância à dessecação e armazenamento de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil), espécie da Mata Atlântica. Revista Brasileira de Botânica 25(4): 431-439.
- BAWA, K. S. 1974. Breeding systems of tree species of a lowland tropical community. Evolution 28: 85-92.
- BAWA, K. S. e WEBB, C. J. 1984. Flower, fruit and seed abortion in tropical forest trees: implications for the evolution of paternal and maternal reproductive patterns. American Journal of Botany 71(5): 736-751.
- BUENO, E.; ROQUERO, A.; FERNANDES, F. L.; LIMA, H. C.; MONTAIGNE, J.; GUEDES, M. J. e MANZANO, N. 2002. Pau-brasil. Axis Mundi, São Paulo.
- BULLOCK, S. H. 1985. Breeding Systems in the Flora of a Tropical Deciduous Forest in Mexico. Biotropica 17(4): 287-301.
- CARDOSO, M. A.; PROVAN, J.; POWELL, W.; FERREIRA, P. C. G. e OLIVEIRA, D. E. de. 1998. High genetic differentiation among remnant populations of the endangered *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae). Molecular Ecology 7: 601-608.
- COCUCCI, A. A.; GALETTO, L. e SERSIC, A. 1992. El síndrome floral de *Caesalpinia gilliesii* (Fabaceae-Caesalpinioideae). Darwiniana 31: 111-135.
- CORRÊA, A. M. S. 2003. Morfologia polínica de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae – Caesalpinioideae). Revista Brasileira de Botânica 26(3): 355-359.
- CRUDEN, R. W. e HERMANN-PARKER, S. M. 1979. Butterfly pollination of *Caesalpinia pulcherrima*, with observations on a psychophilous syndrome. Journal of Ecology 67: 155-168.
- CUNHA, M. W. da e LIMA, H. C. de. 1992. Viagem à terra do pau-brasil. Agência Brasileira de Cultura, Rio de Janeiro.
- DEAN, W. 1996. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. Companhia das Letras, São Paulo.

- ENDRESS, P. K. 1994. Diversity and evolutionary biology of tropical flowers. Cambridge tropical biology series, Cambridge University Press, Great Britain.
- GALINDO-LEAL, C. e CÂMARA, I. de G (Eds.). 2003. The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook. Island Press.
- IBAMA, 1992. Portaria Nº 37-N, de 3 de abril de 1.992, Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção.
- JANZEN, D. H. 1997. Florestas tropicais secas: o mais ameaçado dos grandes ecossistemas tropicais. In WILSON, E. O. (Org.) Biodiversidade, pp. 166-176. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro.
- JONES, C. E. e BUCHMANN, S. L. 1974. Ultraviolet floral patterns as functional orientation cues in Hymenopterous pollination systems. *Animal Behaviour* 22: 481-485.
- KAY, Q. O. N. 1987. Ultraviolet patterning and ultraviolet-absorbing pigments in flowers of the Leguminosae. In C. H. Stirton (Ed.) *Advances in Legume Systematics, Part 3*, pp. 317-353. Royal Botanic Gardens, Kew.
- LEITE, A. V. L. 2006. Biologia Reprodutiva em Plantas da Caatinga: Evidências de um Padrão. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- LEPPIK, E. E. 1966. Floral evolution and pollination in the Leguminosae. *Annales Botanici Fennici* 3: 299-308.
- LEWIS, G. P. 1998. *Caesalpinia*: a revision of the *Poincianella – Erythrostemon* Group. Richmond: Royal Botanic Gardens, Kew.
- LEWIS, G. e GIBBS, P. 1999. Reproductive biology of *Caesalpinia calycina* and *C. pluviosa* (Leguminosae) of the caatinga of north-eastern Brazil. *Plant Systematics and Evolution*, 217: 43-53.
- LI, S-J.; ZHANG, D-X.; LI, L. e CHEN, Z-Y. 2004. Pollination Ecology of *Caesalpinia crista* (Leguminosae: Caesalpinioideae). *Acta Botanica Sinica* 46(3): 271-278.
- LIMA, H. C.; LEWIS, G. P. e BUENO, E. 2002. Pau-brasil: uma biografia. In E. BUENO, A. ROQUERO, F. L. FERNANDES, H. C. LIMA, J. MONTAIGNE, M. J. GUEDES, e N. MANZANO Pau-brasil, pp. 39-76. Axis Mundi, São Paulo.
- LIRA, C. F.; CARDOSO, S. R. S.; FERREIRA, P. C. G.; CARDOSO, M. A. e PROVAN, J. 2003. Long-term population isolation in the endangered tropical tree species *Caesalpinia echinata* Lam. revealed by chloroplast microsatellites. *Molecular Ecology* 12: 3219-3225.

- LORENZI, H. 2002. Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil, Vol. 1, 4<sup>a</sup>. Ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP.
- MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. e SAZIMA, M. 2006. Plant Sexual Systems and a Review of the Breeding System Studies in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. *Annals of Botany* 97(2): 277-287.
- MURCIA, C. 1995. Forest Fragmentation and the Pollination of Neotropical Plants. In J. SCHELLAS e R. GREENBERG (Eds.) *Forest patches in tropical landscapes*, pp. 19-36. Island Press, London.
- OPLER, P. A. 1983. Nectar Production in a Tropical Ecosystem. In B. BENTLEY e T. ELIAS (Eds.) *The biology of nectaries*, pp.30-79. Columbia University Press, New York.
- PRIMACK, R. B., e E. RODRIGUES. 2001. *Biologia da conservação*. Londrina.
- RYMER, R. 2004. Saving the music tree. *Smithsonian* 35(1): 52-63.
- SOUZA, B. J. de. 1939. *O pau-brasil na história nacional*. Coleção Brasileira. Companhia Editora Nacional, São Paulo.
- VOGEL, S. 1954. Blütenbiologische Typen als Elemente der Sippengliederung dargestellt anhand der Südafrikas. *Botanische Studien Heft 1*. Fischer Verlag, Jena.
- VOGEL, S. 1990. Radiación adaptativa del síndrome floral en las familias neotropicales. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina*, 59: 5-30.

**MANUSCRITO A SER  
ENVIADO AO PERIÓDICO  
BIOTROPICA**

**Fenologia e Biologia Reprodutiva do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam., Leguminosae - Caesalpinioideae) em remanescente de Floresta Atlântica Semidecidual em Pernambuco<sup>1,2</sup>**

Laís Angélica Borges<sup>3</sup>

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Departamento de Botânica, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

Mellissa Sousa Sobrinho

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Departamento de Botânica, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

Ariadna Valentina Lopes

Departamento de Botânica, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

Título resumido: Fenologia e Biologia Reprodutiva de *Caesalpinia echinata* Lam.

1- Recebido \_\_\_\_\_; revisão aceita \_\_\_\_\_.

2- Trabalho oriundo da dissertação de mestrado da primeira autora no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco.

3- Autor para correspondência: [laisangelicaborges@yahoo.com.br](mailto:laisangelicaborges@yahoo.com.br)

## RESUMO

O pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) é uma Leguminosae arbórea nativa da Floresta Atlântica brasileira com grande valor histórico e econômico para o país. Foi intensamente explorado desde o início da colonização, encontrando-se atualmente em perigo de extinção. O objetivo deste trabalho foi investigar a fenologia e a biologia reprodutiva da espécie, conhecimentos essenciais para a sua conservação. O estudo foi realizado na Estação Ecológica do Tapacurá, remanescente de Floresta Atlântica em Pernambuco e local de ocorrência natural da espécie, de outubro/2004 a dezembro/2005. *Caesalpinia echinata* apresentou episódios de floração de diferentes intensidades durante o período de estudo, tendo sido os mais intensos em fevereiro e dezembro/2005. Os episódios de frutificação ocorreram logo após os de floração, tendo sido o mais intenso em março/2005. As flores, dispostas em inflorescências racemosas em um número médio de  $32,7 \pm 12,8$  (8-69), são melitófilas, zigomorfas, pentâmeras, com sépalas verdes e pétalas amarelas, a pétala estandarte com uma mácula vermelha. Emitem um forte odor adocicado, cujas principais regiões de emissão foram as sépalas. O androceu é constituído por dez estames com filetes e anteras de tamanhos diferentes, cinco maiores e cinco menores, dispostos alternadamente. A viabilidade polínica foi alta ( $95,9\% \pm 4,84$ ; 86,5-99), não havendo diferença entre os dois tipos de anteras. O nectário localiza-se no hipanto, na base dos estames, circundando o gineceu. O volume de néctar e sua concentração de açúcares foram, em média,  $2,9 \pm 1,0 \mu\text{L}$  e  $29,52 \pm 9,4 \%$ , respectivamente. O ovário encerra em média dois óvulos e o estigma é do tipo câmara, contornada por pêlos dispostos como uma franja. A Razão P/O foi de 5.631,2. A antese é diurna, iniciando-se ao amanhecer e com duração de um dia. Os visitantes considerados polinizadores efetivos da espécie foram abelhas médias a grandes, sendo observadas as espécies *Apis mellifera*, *Centris aenea*, *C. analis*, *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens* e *X. suspecta*. Uma espécie de borboleta (*Proteides mercurius*) e duas de beija-flor (*Amazilia* cf. *fimbriata* e *Phaethornis ruber*) foram consideradas polinizadoras ocasionais, por apresentarem comportamento adequado à polinização, porém com baixa frequência. As abelhas *Trigona spinipes*, *Trigona* sp., *Frieseomelitta doederleini*, *Augochlora* sp. e *Pseudaugochlora* sp. também foram consideradas polinizadoras ocasionais, uma vez que, ao coletarem pólen, nem sempre realizavam polinização. Como pilhadoras de néctar foram observadas *Trigona spinipes*, *Trigona* sp. e outra espécie de borboleta, *Panoquina* sp. Os resultados obtidos a partir dos experimentos de polinização controlada e da análise do

crescimento de tubos polínicos indicam que *C. echinata* é auto-incompatível com mecanismo do tipo ação tardia, apresentando baixa produção natural de frutos (9,2%).

### ABSTRACT

Brazilwood (*Caesalpinia echinata* Lam.) is a Leguminosae tree native from the Brazilian Atlantic forest, with great historical and economic value to the country. It was intensively explored since the beginning of the colonization process, being now an endangered species. The aim of this work was to investigate the phenology and the reproductive biology of the species, analyzing its floral attributes and visitors and its breeding system, essential knowledge for its conservation. The study was carried out from October/2004 to December/2005 at the Tapacurá Ecological Station, a remnant of Atlantic forest in the Pernambuco state, Brazil, and a place of natural occurrence of the species. *Caesalpinia echinata* flowered with different intensities during the study period, the most intense occurring in February and December/2005. The fruiting followed flowering, being most intensive in March/2005. The flowers, disposed in racemose inflorescences on an average number of  $32,7 \pm 12,8$  (8-69), are melittophilous, zigomorphic, and pentamerous, with green sepals and yellow petals, the standard petal with a red blotch. Flowers are sweet scented, with sepals as main emitting areas. The androecium has ten stamens with filaments and anthers of two different sizes, five longer with larger anthers and five shorter with smaller anthers, alternately disposed. Pollen showed high viability ( $95,9\% \pm 4,84$ ; 86,5-99%), with no differences between the two types of anthers. The nectary is located in the hypanthium, at the base of the stamens, surrounding the gynophore. Nectar volume and sugar concentration were, on average,  $2,9 \pm 1,0 \mu\text{L}$  e  $29,52 \pm 9,4\%$ , respectively. The ovary has on average two ovules and the stigma has a fringed chamber. The P/O ratio was 5.631,2. The anthesis is diurnal, beginning at dawn and lasting for one day. The effective pollinators were medium sized to large bees: *Apis mellifera*, *Centris aenea*, *C. analis*, *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens* and *X. suspecta*. A butterfly (*Proteides mercurius*) and two hummingbird species (*Amazilia* cf. *fimbriata* e *Phaethornis ruber*) were considered occasional pollinators, because of their low frequency of visits. The bee species *Trigona spinipes*, *Trigona* sp., *Frieseomelitta doederleini*, *Augochlora* sp. and *Pseudaugochlora* sp. were also considered occasional pollinators, once they eventually contact stigma when collecting pollen. As nectar thieves were observed the bee species *Trigona spinipes* and *Trigona* sp. and another butterfly species, *Panoquina* sp.

The results of the controlled pollination experiments and the analyses of the pollen tubes growth indicate that *C. echinata* is a self-incompatible species with a late acting self-incompatibility system, showing a low natural fruit set (9,2%).

Key-words: brazilwood; *Caesalpinia echinata*; Leguminosae; floral biology; phenology; pollination; reproductive biology; late acting self-incompatibility; Brazil; Tropical Dry Forest.

## INTRODUÇÃO

*Caesalpinia echinata* Lam., popularmente conhecida como pau-brasil, é uma Leguminosae arbórea, nativa do trecho Estacional Semidecidual da Floresta Atlântica brasileira, com distribuição original do Rio Grande do Norte ao Rio de Janeiro, apresentando grande valor histórico e econômico para o Brasil (Souza 1939, Lewis 1998, Bueno *et al.* 2002). O próprio nome do país foi decorrente de sua exploração, que ocorreu intensamente desde o início do processo de colonização do Brasil pelos portugueses, primeiramente para a extração de corante vermelho de sua madeira, posteriormente para a fabricação, principalmente, de arcos de violino, tendo sido o primeiro elemento da natureza brasileira explorado comercialmente em larga escala (Dean 1996, Lewis 1998, Lorenzi 2002, Pádua 2000, Rymer 2004). Associado ao uso irracional, a espécie sofreu ainda com a fragmentação e a perda de habitat às quais a Floresta Atlântica brasileira foi sujeita (Cunha & Lima 1992, Galindo-Leal & Câmara 2003). Tais foram os níveis de pressão sobre *C. echinata* que a espécie foi incluída na Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção (IBAMA 1992).

Apesar de sua importância histórica e atual situação de ameaça, até recentemente poucos haviam sido os estudos realizados sobre aspectos de sua biologia (Bueno *et al.* 2002), estudos estes fundamentais na elaboração de estratégias para a conservação de espécies (Primack & Rodrigues 2001). Felizmente, tal situação vem mudando, a exemplo das pesquisas de Cardoso *et al.* (1998) e Lira *et al.* (2003), acerca da variabilidade genética em algumas populações, Barbedo *et al.* (2002), com enfoque em aspectos do armazenamento e da tolerância à dessecação de sementes, e Corrêa (2003), sobre morfologia polínica.

Mesmo com o crescente conhecimento sobre a espécie, muitas informações ainda não foram devidamente investigadas, como é o caso de sua biologia reprodutiva (Cardoso *et al.* 1998, Lima *et al.* 2002, Lira *et al.* 2003). Sendo esta uma das áreas de estudo mais relevantes para a compreensão das relações ecológicas e evolutivas de uma espécie (Endress 1994) é, portanto, essencial para o planejamento de ações para a conservação biológica (Murcia 1995).

O gênero *Caesalpinia* apresenta ca. 120 a 130 espécies (Lewis 1998) das quais apenas 19 foram estudadas quanto a algum aspecto de sua biologia reprodutiva (Tab. 1 da Fundamentação teórica desta dissertação). Os resultados de alguns destes estudos sugerem que os conjuntos de características florais do gênero podem estar estreitamente relacionados com o tipo de polinizador (Lewis & Gibbs, 1999). Vogel (1990) refere-se à ocorrência de quatro tipos florais para o gênero, reflexo da irradiação adaptativa das síndromes florais nas angiospermas, havendo espécies melitófilas, psicófilas, esfingófilas e ornitófilas. Quanto ao

sistema reprodutivo, as espécies para as quais existem dados são, também, poucas, podendo-se verificar a ocorrência de espécies autocompatíveis e, mais frequentemente, auto-incompatíveis.

Conforme referido, apesar de todo o contexto histórico e de exploração de *Caesalpinia echinata*, até o esgotamento de seus recursos e sua “extinção comercial” (Pádua 2000), não foram registrados estudos de biologia floral, ecologia da polinização e sistema reprodutivo para a espécie, temas que foram aqui investigados.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi investigar a fenologia, a biologia floral, a ecologia da polinização e o sistema reprodutivo de *C. echinata*, em local de ocorrência natural da espécie.

## MÉTODOS

**LOCAL DE ESTUDO** – O trabalho de campo foi realizado na Estação Ecológica do Tapacurá (08°02'23"S 35°11'40"O), Município de São Lourenço da Mata, Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil, no período de outubro de 2004 a dezembro de 2005. A Estação possui área de 776 ha (Azevedo Júnior 1990, Fernandes 1997), com trechos remanescentes de Mata Atlântica do tipo Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas (Vasconcelos Sobrinho 1971, *sensu* Veloso *et al.* 1991), correspondendo a 382 ha (Azevedo Júnior 1990). O restante da área (394 ha) é ocupado por uma barragem, decorrente do represamento do Rio Tapacurá. A altitude na Estação varia de 110 a 230 m (FIDEM 1987) e a temperatura e a precipitação médias anuais são de 24°C e 1300,9 mm, respectivamente (SUDENE 1990, FIDEM 2000, Braga 2001). O clima apresenta forte sazonalidade, havendo duas estações bem definidas: uma chuvosa, de março a agosto, e uma seca, de setembro a fevereiro. De acordo com a literatura, a Estação é um dos últimos locais de ocorrência natural de *Caesalpinia echinata* (Cunha & Lima 1992). Ramos contendo partes vegetativas e reprodutivas de *Caesalpinia echinata* foram coletados e encontram-se depositados no Herbário da Universidade Federal de Pernambuco (UFP N° 42.228) como espécimes-testemunho.

**FENOLOGIA** – A análise fenológica ocorreu durante todo o período de estudo, tendo sido marcados quinze indivíduos adultos, os quais foram observados mensalmente quanto às seguintes fenofases: queda foliar, brotamento foliar, floração (incluindo emissão de botões) e frutificação. As fenofases foram registradas de acordo com uma escala intervalar

semiquantitativa com cinco categorias de intensidade fenológica: 0 - ausência da fenofase; 1 – fenofase entre 1 – 25%; 2 – entre 26-50%; 3 – entre 51-75%; e 4 – entre 76 -100% (Fournier 1974). Para identificação do padrão fenológico encontrado foram utilizadas as classificações propostas por Gentry (1974) e Newstrom *et al.* (1994).

**BIOLOGIA FLORAL** - Foi avaliado o número médio de botões por inflorescência, tendo sido analisada a morfologia e o tipo floral (*sensu* Faegri & Pijl 1979), bem como o sistema sexual da espécie. Foram observados o início e a duração da antese, através da marcação e acompanhamento de botões florais e flores. Para verificação das regiões de emissão de odor foram utilizados o teste com vermelho neutro (Vogel 1963) e a técnica de classificação de odores (Dafni 1992). A existência de regiões de absorção de luz ultravioleta (UV) nas flores foi verificada utilizando-se hidróxido de amônia (NH<sub>4</sub>OH), o qual reage com pigmentos flavonóides, absorvedores de luz UV (Scogin *et al.* 1977). O nectário foi observado através da utilização de solução de vermelho neutro (Dafni 1992). O volume de néctar e sua concentração de açúcares foram medidos em flores previamente ensacadas, entre as 0600 h e as 1000 h da manhã, com microseringa Microliter® (10 µL) e refratômetro de bolso (Atago® 0-50%) (Kearns & Inouye 1993), respectivamente. A receptividade do estigma foi verificada através da presença de umidade na cavidade estigmática de botões em pré-antese e flores abertas (Heslop-Harrison & Shivanna 1977). A viabilidade polínica foi avaliada com carmin acético (Radford *et al.* 1974). Foram feitas contagens para a determinação do número médio de óvulos e de grãos de pólen por flor (nos dois tipos de estames observados – ver abaixo), a partir das quais foi calculada a razão pólen/óvulo (*sensu* Cruden 1977). Uma inflorescência possuindo flores abertas e botões em fase de pré-antese teve sua posição alterada sendo observada no dia seguinte para detectar a ocorrência de ressupinação.

**VISITANTES FLORAIS** – Os visitantes florais foram observados quanto aos horários e comportamentos de visita e classificados como: 1) polinizadores efetivos, quando coletavam o recurso primário (néctar) sempre contatando as partes florais reprodutivas; 2) polinizadores ocasionais (coletavam néctar ou pólen, em raras visitas ou nem sempre contatando as partes florais reprodutivas); ou 3) pilhadores, quando utilizavam algum recurso nunca contatando as partes florais reprodutivas. Representantes dos visitantes florais foram coletados para identificação, medições e testemunho do estudo, encontrando-se depositados na coleção entomológica do Laboratório de Biologia Floral e Reprodutiva da Universidade Federal de

Pernambuco. Medidas do comprimento do bico das espécies de beija-flores foram retiradas de Grantsau (1989). Sempre que possível foram feitos registros fotográficos das visitas.

SISTEMA REPRODUTIVO – Para a investigação do sistema reprodutivo foram realizadas polinizações controladas - auto-espontâneas, auto-manuais e cruzadas - em flores previamente encobertas na fase de botão com sacos de papel semipermeável (Radford *et al.* 1974). Após o término do período de antese os sacos foram removidos e as flores foram marcadas e observadas com relação ao desenvolvimento de frutos.

Para observação do crescimento de tubos polínicos, outras flores foram submetidas aos tratamentos de autopolinização manual e polinização cruzada, tendo sido coletadas e fixadas em FAA 70% a intervalos de 8, 16, 24, 48, 72 e 96h após o tratamento, sendo então utilizada a metodologia proposta por Martin (1959) para análise sob microscópio de fluorescência.

Além dos tratamentos acima mencionados, houve também a marcação de flores para a avaliação do percentual de formação de frutos em condições naturais.

A formação e o desenvolvimento de frutos foram acompanhados periodicamente, havendo a análise do número médio e da posição dos frutos na inflorescência e do número médio de sementes e óvulos por fruto, calculando-se a razão óvulo/semente (Bawa & Buckley 1989). Também foram calculados o Índice de Auto-Incompatibilidade (IAI) (razão entre o percentual de frutos formados por autopolinização manual e o de frutos formados por polinização cruzada manual) (*sensu* Zapata & Arroyo 1978) e a Eficácia Reprodutiva (razão entre o percentual de frutos formados por polinização natural e o de frutos formados por polinização cruzada manual, *sensu* Bullock 1985, modificado de Zapata & Arroyo 1978).

ANÁLISES ESTATÍSTICAS – Foram realizados testes estatísticos para comparar os tamanhos médios dos filetes e anteras nos dois tipos de estames observados, além dos números médios de grãos de pólen e a viabilidade polínica em cada tipo de antera. Para testar a normalidade dos dados foi utilizado o teste Shapiro-Wilk e para comparar as médias foi utilizado o teste *t* de Student (Sokal & Rohlf 1981). Os testes foram realizados no *software* BioEstat 3.0 (Ayres *et al.* 2003).

## RESULTADOS

FENOLOGIA – No que diz respeito às fenofases vegetativas, analisando os dados em nível populacional, a queda foliar foi registrada em quase todo o período de estudo, com exceção de agosto de 2005 (Fig. 1A). No entanto, ao se analisarem os perfis de cada indivíduo foi observado que todos apresentaram pelo menos dois meses com valores nulos para essa fenofase, alguns não exibindo perda de folhas por até cinco meses. Apesar dessa divergência, de uma forma geral observou-se uma tendência de aumento da abscisão foliar na estação seca, quando a fenofase atingiu seus valores máximos, e diminuição durante a estação chuvosa. Mesmo durante os períodos de maior intensidade de queda de folhas, nenhum indivíduo apresentou perda total da folhagem, raramente ocorrendo abscisão em mais de 50% da copa.

Em geral, o brotamento foliar foi verificado durante todo o período de estudo, entretanto, novamente analisando os dados em nível individual, verificou-se que todos os indivíduos apresentaram mais de um período, com durações variáveis (de um até oito meses) onde se registraram valores nulos para essa fenofase. Mesmo com essa diferença entre os indivíduos, observou-se que, em geral, estes apresentaram dois períodos de maior intensidade de brotamento: um do meio para o final da estação seca (fevereiro e dezembro de 2005), coincidindo com a floração, e outro no final da estação chuvosa (agosto-setembro de 2005), havendo uma diminuição na produção de novas folhas nesta estação (Fig 1A).

Com relação à fenologia reprodutiva (Fig. 1B), a população apresentou mais de um evento de floração e de frutificação durante o período de estudo, no entanto, a intensidade dos episódios foi diferente, com a floração atingindo níveis máximos na estação seca (episódios de fevereiro e dezembro/2005) e a frutificação tendo sido mais intensa em março/2005, com a dispersão das sementes ocorrendo durante a estação chuvosa. A duração de cada episódio de floração foi de uma a duas semanas e a de frutificação foi de aproximadamente dois meses. Verifica-se, portanto, que em nível populacional a floração foi imediatamente posterior ao pico de queda de folhas (que aconteceu na estação seca), sendo concomitante ao pico de brotamento foliar (Figs. 1A, B).

BIOLOGIA FLORAL – As flores de *Caesalpinia echinata* estão dispostas em inflorescências racemosas terminais em um número médio de  $32,7 \pm 12,8$  flores por inflorescência (8-69;  $N = 60$  inflorescências). Em algumas inflorescências, o ápice do racemo não se desenvolve completamente, isto é, não produz flores, permanecendo na forma de um pequeno cone, o qual, após o período de floração em que houve o desenvolvimento da inflorescência, pode finalizar o seu desenvolvimento, tornando a produzir flores em algum episódio de floração subsequente. As flores são do tipo estandarte (*sensu* Faegri & Pijl 1979), pentâmeras,

zigomorfas, com sépalas verdes e pétalas amarelas, apresentando a pétala estandarte uma mácula vermelha (Figs. 2A, B), a qual reagiu positivamente ao teste com hidróxido de amônia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) para detecção de pigmentos flavonóides (Fig. 2C). As flores posicionam-se sempre com a pétala estandarte voltada para cima (Fig. 2B), podendo o pedicelo girar até  $180^\circ$  para posicionar esta pétala para cima, caso haja deslocamento da inflorescência e botões antes da antese. Exalam um forte odor adocicado, cuja principal região de emissão são as sépalas, de acordo com o teste realizado com vermelho neutro (Fig. 2D).

O androceu é constituído por dez estames com filetes e anteras apresentando duas dimensões distintas, cinco maiores e cinco menores (Tabela 1), dispondo-se os dois tipos de forma intercalada (Figs. 2B, F). A deiscência das anteras é rimosa. Os filetes, pilosos da base até cerca de  $2/3$  de sua altura, são bastante próximos, formando uma parede ao redor do nectário, o qual se localiza na região interna e basal do hipanto, circundando o pequeno ginóforo que se situa em sua porção central (Fig. 2E). Essa parede formada pelos filetes só é interrompida em dois pontos, localizados na metade superior da flor, entre o filete superior central e seus dois adjacentes. Esses orifícios constituem assim as aberturas de acesso ao néctar (Fig. 2F). O volume de néctar e sua concentração de açúcares foram, em média,  $2,9 \pm 1,0 \mu\text{L}$  ( $N = 14$  flores) e  $29,52 \pm 9,4\%$  ( $N = 22$  flores), respectivamente.

Apesar de o pistilo inserir-se na porção central do receptáculo (Fig. 2E), o ovário é deslocado para baixo, em relação ao centro do disco floral, devido a sua morfologia curva. O ovário apresenta de um a quatro óvulos ( $N = 113$  flores), com 61,9% dos pistilos analisados contendo dois óvulos e 32,7%, três. Em apenas três pistilos (2,6%) foi verificada a presença de um óvulo, sendo o mesmo valor observado para pistilos com quatro óvulos. Verifica-se também grande pilosidade, a qual é menor na região do estilete. O estigma é úmido e crateriforme (Fig. 3B), preenchido por mucilagem, sendo a sua abertura contornada por uma franja de pêlos (Fig. 3A).

O número médio de grãos de pólen e a viabilidade polínica por tipo de estame/antera e por flor e a razão P/O encontram-se detalhados na Tabela 1. Houve diferença significativa entre o número de grãos de pólen de acordo com o tipo de estame/antera, porém a viabilidade polínica foi igual entre os dois tipos analisados.

A abertura floral ocorreu por volta do amanhecer (cerca de 0500 h, em fevereiro). O número médio de flores por inflorescência que se abriram por dia foi de  $6,4 \pm 4,6$  (1-19;  $N = 35$  inflorescências). O néctar já se encontrava disponível desde a abertura e o estigma receptivo na fase de botão em pré-antese, porém a deiscência das anteras só se iniciou mais tarde, em torno de 0800 h, havendo variação de acordo com a localização da flor: flores

expostas ao sol geralmente iniciaram a abertura das anteras antes de flores sombreadas, as quais podiam iniciar a deiscência somente a partir das 1000 h. Dessa forma, a espécie foi considerada protogínica. A deiscência das anteras foi seqüencial, iniciando-se a partir dos estames superiores, seguidos pelos inferiores, com duração de cerca de duas horas até estarem todas as anteras abertas. A flor ficou viável por um dia (ca.13 horas, ficando abertas até ca. 1800 h). Independentemente de ter ocorrido polinização, no dia seguinte as pétalas encontravam-se murchas e encobrindo as partes reprodutivas, sendo a pétala estandarte a primeira a se curvar para recobrir androceu e gineceu, seguida pelas outras pétalas. Enquanto as sépalas estiveram presas ao receptáculo houve emissão de odor, apesar de a intensidade diminuir com o passar do tempo.

VISITANTES FLORAIS – As flores de *C. echinata* foram visitadas por 11 espécies de abelha, duas de borboleta e duas de beija-flor (Tabela 2).

*Apis mellifera*, *Centris aenea*, *C. analis*, *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens* e *X. suspecta*, abelhas consideradas médias a grandes (*sensu* Frankie *et al.* 1983), apresentaram comportamento de visita semelhante, abordando a flor frontalmente em busca de néctar e sempre contatando as partes reprodutivas com a região ventral do corpo. Foram registradas durante toda a floração, sendo consideradas polinizadoras efetivas (Tabela 2).

Uma das espécies de borboleta, *Proteides mercurius*, coletava néctar contatando as anteras e o estigma com as pernas e/ou o ventre. Essa espécie, porém, foi vista em apenas um dia de fevereiro de 2005, podendo, portanto, ser considerada como polinizadora ocasional.

*Augochlora* sp., *Frieseomelitta doederlein* e *Pseudaugochlora* sp., foram observadas sempre coletando pólen, atuando como polinizadores ocasionais, pois, durante a coleta, eventualmente contatavam o estigma com as pernas e /ou o ventre.

*Trigona spinipes* e *Trigona* sp. apresentaram dois comportamentos de visita: em algumas visitas os indivíduos coletavam néctar perfurando a região externa do cálice, nunca contatando o estigma, atuando, portanto, como pilhadores (Fig. 4D). Outras vezes coletavam pólen, podendo contatar o estigma da flor, atuando, assim, como polinizadores ocasionais (Fig. 4E).

A segunda espécie de borboleta, *Panoquina* sp., foi observada coletando néctar, porém, nunca contatando o estigma com nenhuma parte do corpo, sendo também considerada pilhadora.

As espécies de beija-flor, *Amazilia* cf. *fimbriata* e *Phaethornis ruber*, foram observadas apenas em duas ocasiões: *A.* cf. *fimbriata* em abril de 2005 e *P. ruber* em

dezembro de 2005, sempre coletando néctar e contatando as partes reprodutivas com o bico, sendo considerados polinizadores ocasionais.

**SISTEMA REPRODUTIVO** – Os resultados dos tratamentos de polinização controlada e natural encontram-se na Tabela 3. Como pode ser observado, em nenhum dos tratamentos de autopolinização, manual ou espontânea, houve formação de frutos. Estes só foram observados a partir de polinizações cruzadas e naturais. Assim, o Índice de Auto-Incompatibilidade (*sensu* Zapata & Arroyo 1978) foi zero. As análises de crescimento de tubo polínico através de microscopia de fluorescência mostraram tubos polínicos penetrando o óvulo tanto em flores provenientes de polinização cruzada (Fig. 3C), como em flores oriundas de autopolinização (Fig. 3D).

**SUCESSO REPRODUTIVO** – Em condições naturais, o número médio de frutos por inflorescência foi  $2,1 \pm 1,8$  (0-13;  $N = 137$  inflorescências) e o número médio de sementes que atingiram pleno desenvolvimento por fruto foi  $1,7 \pm 0,9$  (0-4;  $N = 99$  frutos), resultando em uma razão semente/óvulo de 0.69 ( $N = 99$  frutos). A Eficácia Reprodutiva (*sensu* Bullock 1985, modificado de Zapata & Arroyo 1978) encontrada no período de estudo foi de 0,22. A porcentagem de frutos formados em condições naturais foi de 9,2% e a de frutos abortados foi de 19,6% ( $N = 122$  inflorescências).

## DISCUSSÃO

Segundo Newstrom *et al.* (1994) a sazonalidade fenológica significa a associação temporal de uma fenofase com um certo mês ou estação do ano. De acordo com isso, *C. echinata* apresentou comportamento fenológico sazonal, o qual era o esperado, uma vez que a espécie habita florestas estacionais, onde existe uma marcante variação na disponibilidade hídrica, sendo esta um dos fatores determinantes dos padrões fenológicos aí encontrados.

As fenofases vegetativas em *C. echinata* exibiram diferenças quando analisadas sob diferentes níveis, individual e populacional, indicando pouca sincronia entre os indivíduos, fato também encontrado por Bullock e Solís-Magallanes (1990) para queda foliar em pesquisa realizada em uma Floresta Tropical Decidual do México. A sincronia entre os indivíduos pode ser decorrente de diferenças no microhabitat (Newstrom *et al* 1994).

Apesar de ter apresentado mais de um episódio de floração em um mesmo ano, *C. echinata* pode ser enquadrada dentro do padrão de floração anual, segundo a classificação de Newstrom *et al.* (1994), a qual é caracterizada por apenas um episódio maior de floração por ano, restrito a uma época, podendo haver variações que incluem o padrão de pulsos com pausas encravadas no episódio maior de floração e padrões com explosões de floração adicionais, precoces ou tardias, com baixa amplitude que ocorrem esporadicamente fora do principal período de floração, sendo esta última variação a registrada no presente estudo. Segundo a classificação de Gentry (1974), o padrão de floração de *C. echinata* se enquadrou melhor ao Tipo 4 ou “big bang” que está associado com uma sincronização precisa dos períodos de floração dos indivíduos, de forma que a estação de floração de uma espécie pode ser de apenas alguns dias por ano.

Diversos caracteres florais de *C. echinata* enquadram a espécie dentro da síndrome de polinização do tipo melitofilia (polinização por abelhas): a antese diurna, o forte odor adocicado, a simetria zigomorfa, as pétalas amarelas, com uma delas (pétala estandarte) apresentando um conspicuo guia de néctar e a presença de néctar, com alta concentração de açúcares, como recurso oferecido aos polinizadores (*sensu* Faegri & Pijl 1979, Baker 1975). Dentre as síndromes de polinização registradas para espécies do gênero *Caesalpinia* (Tabela 1 da Fundamentação Teórica dessa dissertação), a melitofilia foi a mais freqüente, ocorrendo em 11 das 16 espécies estudadas quanto a este parâmetro. Esta é também a síndrome mais freqüente na família Leguminosae (Arroyo 1981).

O guia de néctar exibido pelas flores de *C. echinata* apresentou indício de ser evidente não apenas sob o espectro de luz visível ao olho humano. A resposta positiva para o teste com hidróxido de amônia indica a capacidade dessa área da flor em absorver luz ultravioleta (UV), destacando-a das outras, provavelmente refletoras de tal luz, o que formaria um padrão visível para as abelhas, as quais possuem capacidade de enxergá-la (Harborne 1993). A pétala estandarte apresentando capacidade de absorção de luz UV também foi registrada em outra espécie do gênero *Caesalpinia*. Jones e Buchmann (1974) demonstraram que em *C. eriostachys* a pétala estandarte (amarela e com algumas marcas alaranjadas próximas da base, sob luz visível) é absorvedora de luz UV, sendo as outras pétalas refletoras. Nesta espécie, além da pétala guia, as anteras também se mostraram absorvedoras de UV, enquanto os filamentos se mostraram refletores. Em *C. echinata*, o teste não indicou a capacidade das anteras em absorver luz UV, porém não se pode afirmar que esse padrão não ocorra, uma vez que o teste é restrito a um grupo de pigmentos absorvedores, podendo haver a presença de outros, não detectáveis através da reação com hidróxido de amônia.

O encurvamento da pétala estandarte sobre os estames ao final do dia de abertura da flor também foi relatado por Jones e Buchmann (1974) para *C. eriostachys*. Tais autores sugerem que essa característica modificaria o padrão visual da flor, servindo como um marcador que a identificaria como não mais disponibilizadora de recurso, uma vez que nenhuma das flores em tais condições foi visitada, fato também aqui observado.

A capacidade de ressupinação da flor apresentada por *C. echinata* também já foi registrada para outras espécies, como *Swartzia pickelli* (Leguminosae-Papilionoideae) (Lopes & Machado 1996) e provavelmente está relacionada a uma zona de articulação existente no pedicelo, a qual, segundo Lewis (1998), está presente na maioria das espécies neotropicais de *Caesalpinia* - grupo *Poincianella-Erythrostemon*. Essa característica parece ser vantajosa, uma vez que torna constante o padrão da flor, sempre com a pétala estandarte localizada verticalmente e na parte superior da flor, o que pode facilitar o pouso e a coleta de néctar pelos visitantes (Jones & Buchman 1974). A abscisão de flores não fertilizadas ocorre geralmente nesse ponto de articulação (Lewis 1998), fato também observado no presente estudo.

O acesso ao néctar somente através dos orifícios entre as bases dos três estames superiores, característica encontrada em *C. echinata*, foi registrado para outras espécies de *Caesalpinia* (Lewis 1998, Li *et al.* 2004). Esse tipo de acesso indica uma proteção ao recurso oferecido pela flor, característica que segundo Arroyo (1981) é encontrada nos gêneros mais avançados de Caesalpinioideae.

A síndrome de polinização (melitofilia) inferida para *C. echinata* através de seus atributos florais foi corroborada pela análise de seus principais visitantes florais e polinizadores, que foram abelhas médias a grandes. Espécies de *Xylocopa* foram registradas para todas as espécies melitófilas de *Caesalpinia* nos estudos que tiveram pelo menos algum de seus visitantes florais especificados (Tabela 1 da Fundamentação teórica dessa Dissertação), embora nem sempre tenha sido especificado o seu real comportamento. Nos casos em que este foi determinado, *Xylocopa* foi sempre considerada polinizadora, comportamento também encontrado para *C. echinata*. Espécies de *Centris* também foram registradas em alguns estudos, podendo atuar como pilhadoras ou polinizadoras, dependendo do tamanho floral da espécie em questão (Tabela 1 citada anteriormente). No caso de *C. echinata*, ambas as espécies observadas de *Centris* foram classificadas como polinizadoras efetivas, visto que o tamanho do corpo das espécies é compatível com as dimensões florais e que elas visitam as flores durante todo o período de floração. *Apis mellifera*, apesar de ser uma espécie exótica, foi considerada polinizadora efetiva, não tendo sido registrada em outros

estudos de espécies de *Caesalpinia*, embora haja o registro de *A. cerana* coletando pólen em flores de *C. crista* (Li *et al.* 2004), sendo a espécie considerada polinizadora pelos autores.

Espécies do gênero *Trigona* pilhando pólen também foram registradas em *C. eriostachys* (Jones & Buchmann 1974) e *C. pluviosa* (Lewis & Gibbs 1999), porém o seu comportamento de pilhagem de néctar através da perfuração do cálice ainda não havia sido registrado para o gênero.

*Frieseomelitta doederleini*, *Augochlora* sp. e *Pseudaugochlora* sp não foram registradas em outros estudos de biologia reprodutiva em *Caesalpinia*, porém seu comportamento pilhador de pólen já é conhecido em outras espécies de plantas.

Apesar de os caracteres florais de *C. echinata* indicarem melitofilia, isso não excluiu a ocorrência de outros visitantes, como borboletas e beija-flores, os quais já foram registrados como visitantes em outras espécies melitófilas de *Caesalpinia*: *C. calycina* - beija-flor, considerado pilhador (Lewis & Gibbs 1999), *C. crista* - diversas espécies de Lepidoptera, comportamentos não especificados (Li *et al.* 2004) e *C. pyramidalis* - beija-flor, considerado pilhador; borboletas, consideradas pilhadoras ou eventuais polinizadoras (Leite 2006) (Tabela 1 da Fundamentação Teórica dessa Dissertação).

Com relação ao sistema reprodutivo, dois parâmetros indicam que *C. echinata* é uma espécie auto-incompatível e, portanto, dependente de vetores de pólen (polinizadores): a formação de frutos apenas sob polinização cruzada e a elevada Razão P/O, cujo valor, segundo Cruden (1977), indica ocorrência de xenogamia obrigatória. A penetração do óvulo por tubo polínico oriundo de grão de pólen do próprio indivíduo, mostrada através da análise sob microscopia de fluorescência, indica que a espécie apresenta um mecanismo de auto-incompatibilidade de ação tardia, caracterizado por apresentar barreiras que operam no ovário antes ou após a fecundação (Seavey & Bawa 1986).

A auto-incompatibilidade parece ser o sistema reprodutivo predominante no gênero *Caesalpinia*, tendo sido registrada em seis das oito espécies analisadas (Tabela 1 da Fundamentação teórica dessa Dissertação). Com relação ao mecanismo de auto-incompatibilidade, apenas dois trabalhos investigam esse parâmetro: o de Lewis e Gibbs (1999), com *C. calycina*, e o de Leite (2006), com *C. pyramidalis*, ambos encontrando auto-incompatibilidade de ação tardia, a qual, segundo Lewis e Gibbs (1999), provavelmente ocorre em outras espécies auto-incompatíveis do gênero.

Apesar de *C. echinata* ter apresentado baixa eficácia reprodutiva, a baixa produção de frutos formados sob condições naturais não necessariamente indicaria ineficiência de polinizadores, pois o reduzido número de frutos que alcançaram estágio de fruto maduro

também está relacionado à alta taxa de aborto de frutos observada, a qual não necessariamente está relacionada com eficiência de polinizadores, podendo sofrer influência de outros fatores, como disponibilidade de recurso para desenvolvimento de frutos, seleção sexual ou predação, dentre outros (Stephenson 1981). Bawa e Webb (1984) também encontraram resultados similares para *C. eriostachys*, com valores baixos de formação de frutos maduros e altos índices de aborto de flores e frutos.

A exploração desenfreada de *Caesalpinia echinata* reduziu dramaticamente os limites da distribuição original da espécie, que hoje se apresenta extremamente fragmentada em poucas, pequenas e isoladas populações. Algumas de suas características contribuem claramente para uma maior vulnerabilidade da espécie em face à intensa exploração que sofreu e que ainda vem sofrendo, como é o caso de seu lento crescimento e limitada viabilidade de suas sementes em condições naturais. A floração em massa apresenta a vantagem de atrair muitos polinizadores, porém também pode ser desvantajosa, uma vez que aumenta as chances de ocorrência de autopolinizações, sendo interessante avaliar a eficácia dos polinizadores e se a espécie introduzida *Apis mellifera*, que aparenta ser eficaz, na verdade não promoveria mais *geitonogamia* do que polinização cruzada. A mesma ambigüidade ocorre com relação ao sistema reprodutivo: a auto-incompatibilidade, apesar de poder ser considerada desvantajosa, a princípio, uma vez que impossibilita a autofecundação e a conseqüente formação de sementes a partir de um único indivíduo, além de tornar obrigatória para a espécie a dependência de vetores para a polinização, pode acabar se tornando uma vantagem, pois reduz a perda de variabilidade genética decorrente de autofecundação. Além disso, o pau-brasil apresentou polinizadores generalistas ou pouco específicos, que podem ser encontrados em uma grande variedade de ambientes, aumentando as chances de polinização cruzada, necessária à reprodução da espécie. Outra observação a ser feita refere-se aos resultados obtidos nos trabalhos utilizando marcadores moleculares, os quais indicam que *Caesalpinia echinata* tolera o cruzamento entre plantas irmãs. Assim, a espécie encontra-se em um nível intermediário entre as condições que aumentam e as que diminuem a variabilidade genética de uma população: apesar de ser auto-incompatível, tolera o cruzamento entre indivíduos irmãos. Isso pode ter contribuído para a não extinção da espécie e para a sua manutenção, mesmo em populações pequenas. Interessante comparar os resultados do sistema reprodutivo com o mecanismo de dispersão: seria difícil para uma espécie autocórica (onde os indivíduos mais próximos têm grandes probabilidades de serem parentes) e com floração em massa, como é o caso do pau-brasil, produzir sementes se não tolerasse o cruzamento entre plantas proximamente aparentadas. De qualquer forma, é

importante que, mesmo apresentando estas características, a produção e o plantio de mudas leve em consideração a origem parental dos indivíduos. A espécie já pode ter sofrido uma grande perda de diversidade genética, sendo essencial evitar a intensificação desse processo em projetos de reflorestamento.

### AGRADECIMENTOS

Aos Drs. André Freitas (Unicamp), pela identificação das borboletas e Fernando Zanella (UFPB), pela identificação das abelhas; ao Sr. Gilcean, pelo auxílio no trabalho de campo e Ana Virgínia Leite e Tarcila Nadia, pelo auxílio no trabalho de laboratório; à CAPES, pela Bolsa de Mestrado concedida à L. A. Borges, ao CEPAN, CNPQ, CI – Brasil, FBPN e FAPESP, pelo apoio financeiro concedido a projetos sob a responsabilidade dos professores M. Tabarelli (UFPE) e R. de C. L. Figueiredo-Ribeiro (IBT-SP); ao CNPq, pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida à A. V. Lopes, e à UFRPE, pela permissão para a realização do estudo na Estação Ecológica do Tapacurá.

### LITERATURA CITADA

- AZEVEDO JÚNIOR, S. M. 1990. A Estação Ecológica do Tapacurá e suas aves. In S. M. Azevedo Jr. (Ed.) IV Encontro Nacional de Anilhadores de Aves, pp. 92-99. Imprensa Universitária, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- ARROYO, M. T. K. 1981. Breeding Systems and Pollination Biology in Leguminosae. In R. M. POLHILL, e P. H. RAVEN (Eds.) Advances in Legume Systematics, Part 2, pp. 723-769. Royal Botanic Gardens, Kew.
- AYRES, M., AYRES JR., M., AYRES, D. L., e SANTOS, A. de A. S. dos. 2003. Bioestat 3.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas. Sociedade Civil Mamirauá, Belém, CNPq, Brasília.
- BAKER, H. G. 1975. Sugar Concentrations in Nectar from Hummingbird Flowers. *Biotropica* 7(1): 37-41.
- BARBEDO, C. J., D. A. C. BILIA, e R. de C. L. FIGUEIREDO-RIBEIRO. 2002. Tolerância à dessecação e armazenamento de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil), espécie da Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Botânica* 25(4): 431-439.
- BAWA, K. S. 1974. Breeding systems of tree species of a lowland tropical community. *Evolution* 28: 85-92.

- BAWA, K. S., e WEBB, C. J. 1984. Flower, fruit and seed abortion in tropical forest trees: implications for the evolution of paternal and maternal reproductive patterns. *American Journal of Botany* 71(5): 736-751.
- BAWA, K. S., e D. P. BUCKLEY. 1989. Seed: ovule ratios, selective seed abortion, and mating systems in Leguminosae. In C. H. Stirton, e J. L. Zarucchi (Eds.) *Advances in Legume Biology*, pp. 243-262. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, 29.
- BRAGA, R. A. P. 2001. *Gestão Ambiental da Bacia do Rio Tapacurá - Plano de Ação*. Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- BUENO, E., A. ROQUERO, F. L. FERNANDES, H. C. LIMA, J. MONTAIGNE, M. J. GUEDES, e N. MANZANO. 2002. *Pau-brasil*. Axis Mundi, São Paulo.
- BULLOCK, S. H., e SOLÍS-MAGALLANES, J. A. 1990. Phenology of canopy trees of a Tropical Deciduous forest in México. *Biotropica* 22(1): 22-35.
- CARDOSO, M. A., J. PROVAN, W. POWELL, P. C. G. FERREIRA, e D. E. de OLIVEIRA, 1998. High genetic differentiation among remnant populations of the endangered *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae). *Molecular Ecology* 7: 601-608.
- CORRÊA, A. M. S. 2003. Morfologia polínica de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae – Caesalpinioideae). *Revista Brasileira de Botânica* 26(3): 355-359.
- CRUDEN, R. W. 1977. Pollen-ovule ratios: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution* 31: 32-46.
- CUNHA, M. W. DA, e H. C. DE LIMA. 1992. *Viagem à terra do pau-brasil*. Agência Brasileira de Cultura, Rio de Janeiro.
- DAFNI, A. 1992. *Pollination ecology: A practical approach*. Oxford University Press, Oxford, England.
- DEAN, W. 1996. *A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*. Companhia das Letras, São Paulo.
- ENDRESS, P. K. 1994. *Diversity and evolutionary biology of tropical flowers*. Cambridge tropical biology series, Cambridge University Press, Great Britain.
- FAEGRI, K., e L. VAN DER PIJL. 1979. *The principles of pollination ecology*, Third edition. London, Pergamon Press.
- FERNANDES, M. L. B. 1997. Unidades de Conservação do domínio da Mata Atlântica. In A. R. Lima, e J. P. R. Capobianco (Orgs.) *Mata Atlântica: avanços legais e institucionais para sua conservação*. Documentos do ISA (Instituto Socioambiental) nº 4, São Paulo.

- FIDEM. 1987. Região Metropolitana do Recife – Reservas Ecológicas – Série Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Recife, pp. 108.
- FIDEM. 2000. Programa Governo nos Municípios. Região de desenvolvimento Agreste Meridional. Companhia Editora de Pernambuco, Recife.
- FOURNIER, L. A. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. Turrialba, 24(4): 422-423.
- FRANKIE, G. W., A. HABER, P. A. OPLER, e K. S. BAWA. 1983. Characteristics and organization of the large bee pollination system in the Costa Rican dry forest. In C. E. Jones, R. J. Little (Eds.) Handbook of experimental pollination biology, pp. 411-447. Scientific and Academic Editions.
- GALINDO-LEAL, C., e I. DE G. CÂMARA (Eds.). 2003. The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook. Island Press.
- GENTRY, A. H. 1974. Flowering phenology and diversity in Tropical Bignoniaceae. Biotropica 6(1): 64-68.
- GRANTSAU, R. 1989. Os Beija-flores do Brasil. Expressão e Cultura, Rio de Janeiro.
- HARBORNE, J. B. 1993. Biochemistry of plant pollination. In J. B. Harborne (Ed.) Introduction to ecological biochemistry, 4<sup>o</sup> edition, pp. 37-70. Academic Press, London.
- HESLOP-HARRISON, Y., e K. R. SHIVANNA. 1977. The receptive surface of the Angiosperm stigma. Annals of Botany. 41: 1233-1258.
- IBAMA. 1992. Portaria N<sup>o</sup> 37-N, de 3 de abril de 1.992, Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção.
- JONES, C. E., e S. L. BUCHMANN. 1974. Ultraviolet floral patterns as functional orientation cues in Hymenopterous pollination systems. Animal Behaviour 22: 481-485.
- KEARNS, C. A., e D. W. INOUE. 1993. Techniques for pollination biologists. University Press of Colorado, Niwot, Colorado.
- LEITE, A. V. L. 2006. Biologia Reprodutiva em Plantas da Caatinga: Evidências de um Padrão. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- LEWIS, G. P. 1998. *Caesalpinia*: a revision of the *Poincianella* – *Erythrostemon* Group. Richmond: Royal Botanic Gardens, Kew.
- LEWIS, G., e P. GIBBS. 1999. Reproductive biology of *Caesalpinia calycina* and *C. pluviosa* (Leguminosae) of the caatinga of north-eastern Brazil. Plant Systematics and Evolution 217: 43-53.

- LI, S-J., D-X. ZHANG, L. LI, e Z-Y. CHEN. 2004. Pollination Ecology of *Caesalpinia crista* (Leguminosae: Caesalpinioideae). *Acta Botanica Sinica* 46(3): 271-278.
- LIMA, H. C., G. P. LEWIS, e E. BUENO. 2002. Pau-brasil: uma biografia. In E. BUENO, A. ROQUERO, F. L. FERNANDES, H. C. LIMA, J. MONTAIGNE, M. J. GUEDES, e N. MANZANO Pau-brasil, pp. 39-76. Axis Mundi, São Paulo.
- LIRA, C. F.; S. R. S. CARDOSO, P. C. G. FERREIRA, M. A. CARDOSO, e J. PROVAN. 2003. Long-term population isolation in the endangered tropical tree species *Caesalpinia echinata* Lam. revealed by chloroplast microsatellites. *Molecular Ecology* 12: 3219-3225.
- LOPES, A. V. F., e I. C. S. MACHADO. 1996. Biologia floral de *Swartzia pickelii* Killip ex Ducke (Leguminosae-Papilionoideae) e sua polinização por *Eulaema* spp. (Apidae-Euglossini). *Revista Brasileira de Botânica* 19(1): 17-24.
- LORENZI, H. 2002. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. Instituto Plantarum, Nova Odessa.
- MARTIN, F. M. 1959. Staining and observing pollen in the style by means of fluorescence. *Stain Technology* 34: 125-128.
- MICHENER, C. D. 2000. The bees of the world. The John Hopkins University Press, London.
- MURCIA, C. 1995. Forest Fragmentation and the Pollination of Neotropical Plants. In J. SCHELLAS e R. GREENBERG (Eds.) *Forest patches in tropical landscapes*, pp. 19-36. Island Press, London.
- NEWSTROM, L. E., G. W. FRANKIE, e H. G. BAKER. 1994. A new classification for plant phenology based in flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26(2): 141-159.
- PRIMACK, R. B., e E. RODRIGUES. 2001. *Biologia da conservação*. Londrina.
- RADFORD, A. E., W. C. DICKINSON, J. R. MASSEY, e C. R. BELL. 1974. *Vascular plant systematics*. Haper & Row Publishers, New York.
- RYMER, R. 2004. Saving the music tree. *Smithsonian* 35(1): 52-63.
- SCOGIN, R., D. A. YOUNG, e C. E. JR. JONES. 1977. Anthochlor pigments and pollination biology. II. The ultraviolet floral pattern of *Coreopsis gigantea* (Asteraceae). *Bolletín of the Torrey Botanical Club*, 104(2): 155-159.
- SEAVEY, S. R., e K. S. BAWA. 1986. Late-acting self-incompatibility in Angiosperms. *The Botanical Review* 52(2):195-219.
- SOKAL, R. R., e F. J. ROHLF. 1995. *Biometry – The principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman and Company, New York.

- SOUZA, B. J. DE. 1939. O pau-brasil na história nacional. Coleção Brasileira. Companhia Editora Nacional, São Paulo.
- SUDENE. 1990. Dados pluviométricos do Nordeste – Estado de Pernambuco. Série Pluviométrica 6. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Recife.
- VASCONCELOS-SOBRINHO, J. 1971. As regiões naturais de Pernambuco, o meio e a civilização. Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco, Recife.
- VELOSO, H. P., A. L. R. RANGEL FILHO, J. C. A. LIMA. 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro.
- VOGEL, ST. 1963. Duftdüsen im Dienste Der Bestäubung. Über Bau und Funktion der Osmophoren. Akad. Wiss. Lit., Mainz Abh. Math. Naturwiss. Klasse, Jahrg. N° 10: 600-763.
- VOGEL, S. 1990. Radiación adaptativa del síndrome floral en las familias neotropicales. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina, 59: 5-30.
- ZAPATA, T. R., e M. T. K. ARROYO. 1978. Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica* 10(3): 221-230.

TABELA 1. Comprimento médio, número médio de grãos de pólen e viabilidade polínica de acordo com o tipo de estame/antera e por flor e razão pólen/óvulo (P/O) de indivíduos de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae) (Nº médio de óvulos/flor = 2) ocorrentes na Estação Ecológica do Tapacurá, São Lourenço da Mata, PE, Brasil.

Estame / Antera	Comprimento Antera (mm)	Comprimento Filete (mm)	Grãos de pólen / Antera	Grãos de pólen / Flor	Viabilidade polínica (%)	Razão P/O
Maior	1,9±0,06a	9,9±0,04a	1.335,2±95,8a	6.676,2a	94,8±7,2a	-
Menor	1,7±0,09b	8,9±0,04b	917,2±53b	4.586,25b	97,0±1,7a	-
Total	-	-	-	11.262,5	95,9	5.631,2

Valores na mesma coluna seguidos por letras diferentes foram significativamente diferentes (comp. antera:  $t=-4,07$ ,  $p=$  ; comp. filete:  $-6,45$ ,  $p=0$ ; nº grãos de pólen/antera:  $t= -7,08$ ,  $p=0$ ; viabilidade polínica/antera:  $t=$ ,  $p=$ ).

TABELA 2. Visitantes florais de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae) com respectivos comprimentos corporais, recurso(s) coletado(s) e comportamento de visita, em um remanescente de Floresta Atlântica Estacional Semidecidual no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

Visitante	Comprimento (mm)	Recurso	Comportamento
Abelhas <sup>1</sup>			
Hymenoptera – Apidae			
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	11,2	Néctar	Polinizador efetivo
<i>Centris aenea</i> Lepeletier, 1841	16	Néctar	Polinizador efetivo
<i>Centris analis</i> (Fabricius, 1804)	11	Néctar	Polinizador efetivo
<i>Frieseomelitta doederleini</i> (Friese, 1900)	6	Pólen	Polinizador ocasional
<i>Trigona spinipes</i> Fabricius, 1793	6	Néctar / Pólen	Pilhador/Pol. ocas. <sup>2</sup>
<i>Trigona</i> sp.	5	Néctar / Pólen	Pilhador/Pol. ocas. <sup>2</sup>
<i>Xylocopa frontalis</i> Olivier, 1789	40	Néctar	Polinizador efetivo
<i>Xylocopa grisescens</i> Lepeletier, 1841	40	Néctar	Polinizador efetivo
<i>Xylocopa suspecta</i> Moure & Camargo, 1988	23	Néctar	Polinizador efetivo
Hymenoptera – Halictidae			
<i>Augochlora</i> sp.	7	Pólen	Polinizador ocasional
<i>Pseudaugochlora</i> sp.	12	Pólen	Polinizador ocasional
Borboletas			
Lepidoptera – Hesperiiidae			
<i>Panoquina</i> sp.	16	Néctar	Pilhador
<i>Proteides mercurius</i> Fabricius, 1787	21	Néctar	Polinizador ocasional
Beija-flores			
Apodiformes – Trochilidae			
<i>Amazilia</i> cf. <i>fimbriata</i> Gmelin, 1788	21 <sup>3</sup>	Néctar	Polinizador ocasional
<i>Phaethornis ruber</i> Linnaeus, 1758	24 <sup>3</sup>	Néctar	Polinizador ocasional

1. Classificação de acordo com Michener (2000); 2. Pilhador – coletando néctar / Polinizador ocasional – coletando pólen; 3. Comprimento do bico - medidas a partir de Grantsau (1989).

TABELA 3. Formação de frutos após tratamentos de polinização controlada (autopolinização espontânea, autopolinização manual e polinização cruzada) e sob condições naturais (controle) em indivíduos de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae) ocorrentes na Estação Ecológica do Tapacurá, São Lourenço da Mata, PE, Brasil.

Tratamento	Flores	Frutos maduros
Autopolinização espontânea	103	0
Autopolinização manual	32	0
Polinização cruzada	39	16 (41%)
Condições naturais	3.131	287 (9,2%)

**LEGENDAS DAS FIGURAS**

FIGURA 1. Fenologia vegetativa (A) e reprodutiva (B) de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesapinioideae) ocorrente em um remanescente de Floresta Atlântica Semidecidual na Estação Ecológica do Tapacurá, São Lourenço da Mata, PE, Brasil. Fonte dos dados pluviométricos: INMET

FIGURA 2. Flores de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesapinioideae): (A) inflorescência; (B) vista frontal da flor; (C) flor após teste com hidróxido de amônia para detecção de áreas de absorção de raios ultravioleta (comparar áreas coradas com cores da figura B); (D-E) flores submetidas à coloração com vermelho neutro evidenciando áreas emissoras de odor (D) e nectário floral (E); (F) vista superior de flor sem pétalas e sépalas evidenciando aberturas para acesso ao nectário localizadas entre os estames.

FIGURA 3. Estigma, grãos de pólen, óvulos e tubos polínicos de flores de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesalpinioideae) sob microscopia de fluorescência: (A) grãos de pólen no estigma (notar franja no ápice do mesmo); (B) estigma (notar câmara estigmática); (C) tubo polínico oriundo de polinização cruzada penetrando óvulo 16 horas após o tratamento; (D) tubo polínico oriundo de autopolinização manual penetrando óvulo 24 horas após o tratamento.

FIGURA 4. Visitantes florais de *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae-Caesapinioideae) observados em remanescente de Floresta Atlântica Semidecidual na Estação Ecológica do Tapacurá, PE, Brasil: *Apis mellifera* (A) e *Xylocopa frontalis* (B-C) coletando néctar; *Trigona spinipes* pilhando néctar após perfurar a base do cálice (D) e coletando pólen (E).

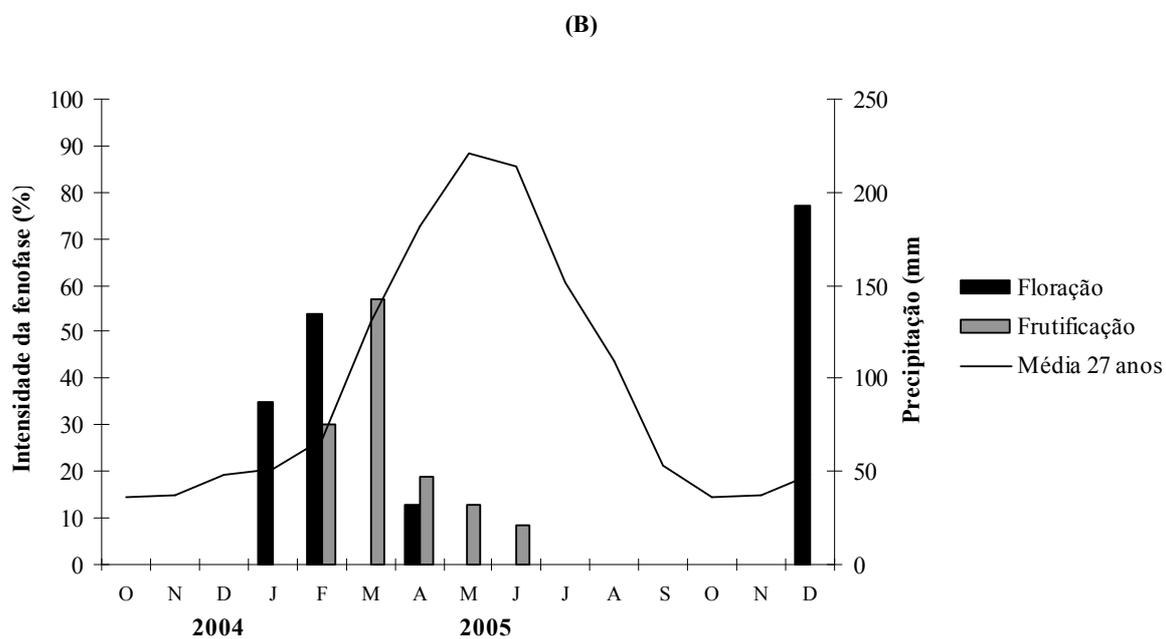
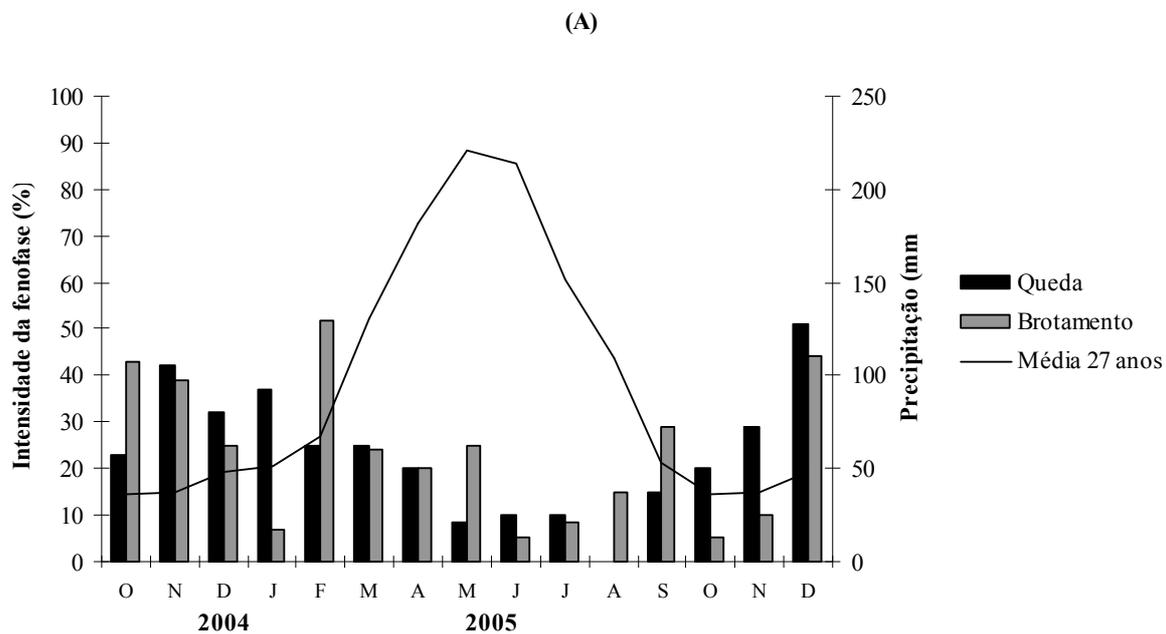


FIGURA 1

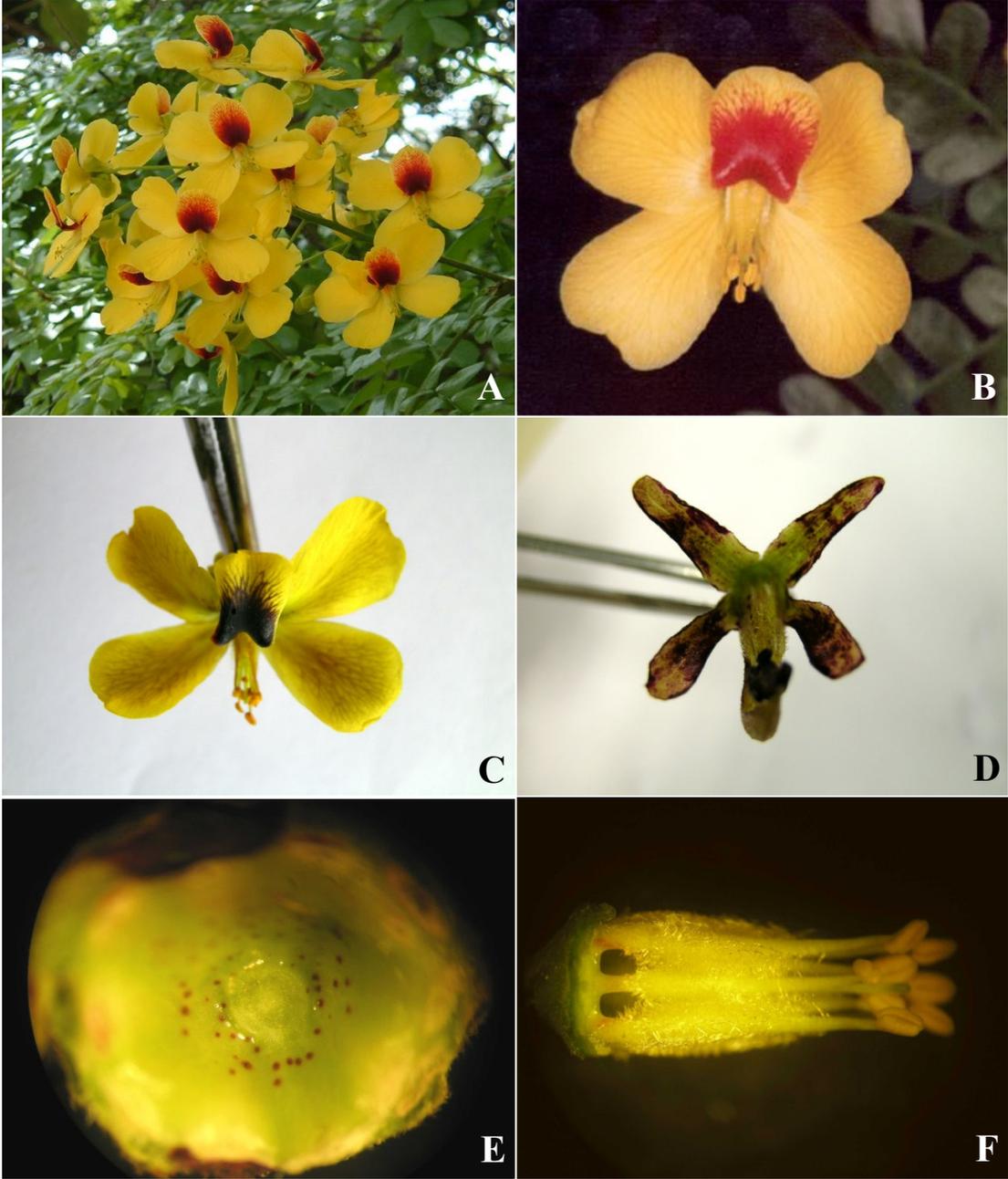


FIGURA 2

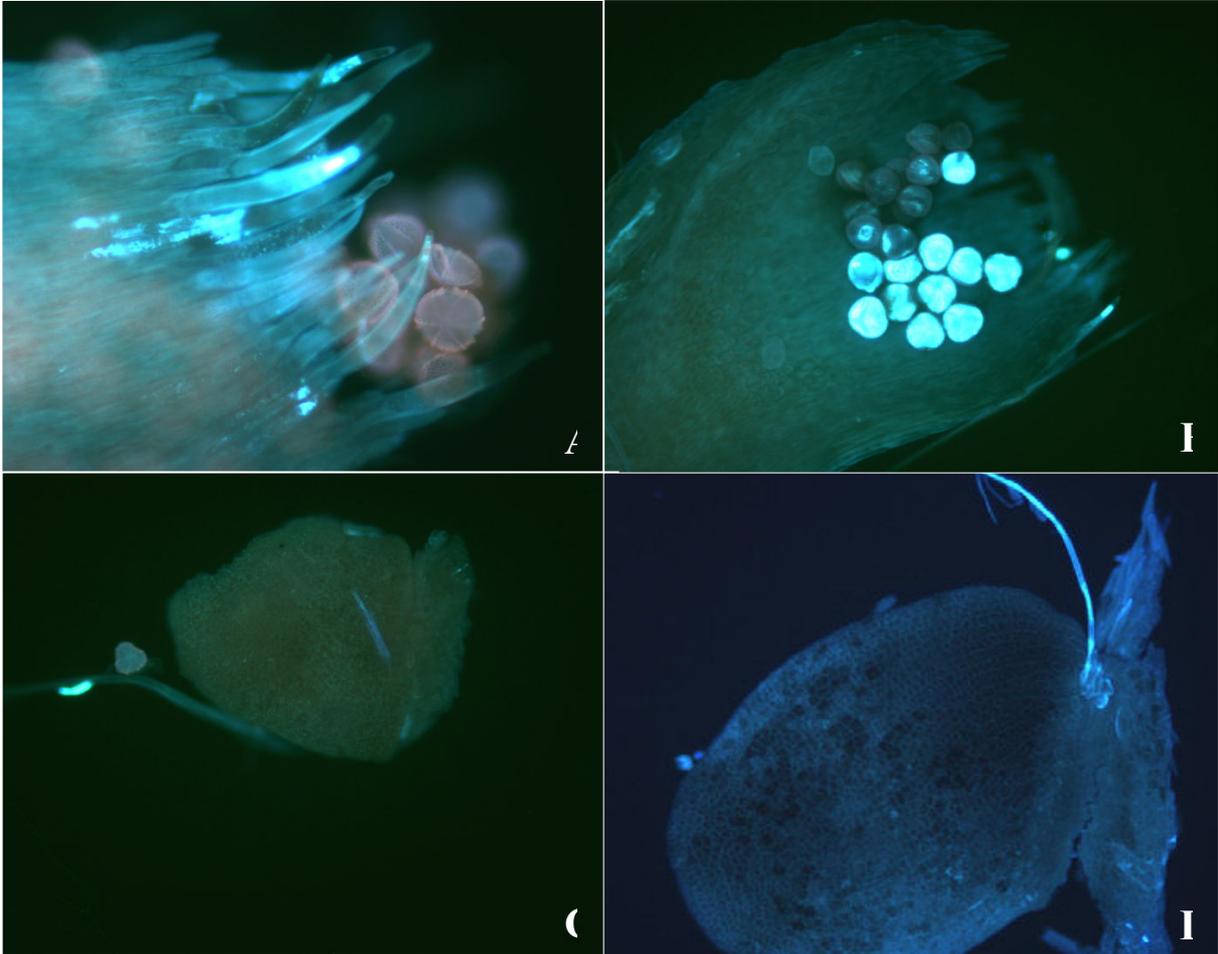


FIGURA 3



FIGURA 4

## RESUMO

O pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) é uma Leguminosae arbórea nativa da Floresta Atlântica brasileira com grande valor histórico e econômico para o país. Foi intensamente explorado desde o início da colonização, encontrando-se atualmente em perigo de extinção. O objetivo deste trabalho foi investigar a fenologia e a biologia reprodutiva da espécie, conhecimentos essenciais para a sua conservação. O estudo foi realizado na Estação Ecológica do Tapacurá, remanescente de Floresta Atlântica em Pernambuco e local de ocorrência natural da espécie, de outubro/2004 a dezembro/2005. *Caesalpinia echinata* apresentou episódios de floração de diferentes intensidades durante o período de estudo, tendo sido os mais intensos em fevereiro e dezembro/2005. Os episódios de frutificação ocorreram logo após os de floração, tendo sido o mais intenso em março/2005. As flores, dispostas em inflorescências racemosas em um número médio de  $32,7 \pm 12,8$  (8-69), são melitófilas, zigomorfas, pentâmeras, com sépalas verdes e pétalas amarelas, a pétala estandarte com uma mácula vermelha. Emitem um forte odor adocicado, cujas principais regiões de emissão foram as sépalas. O androceu é constituído por dez estames com filetes e anteras de tamanhos diferentes, cinco maiores e cinco menores, dispostos alternadamente. A viabilidade polínica foi alta ( $95,9\% \pm 4,84$ ; 86,5-99), não havendo diferença entre os dois tipos de anteras. O nectário localiza-se no hipanto, na base dos estames, circundando o gineceu. O volume de néctar e sua concentração de açúcares foram, em média,  $2,9 \pm 1,0 \mu\text{L}$  e  $29,52 \pm 9,4 \%$ , respectivamente. O ovário encerra em média dois óvulos e o estigma é do tipo câmara, contornada por pêlos dispostos como uma franja. A Razão P/O foi de 5.631,2. A antese é diurna, iniciando-se ao amanhecer e com duração de um dia. Os visitantes considerados polinizadores efetivos da espécie foram abelhas médias a grandes, sendo observadas as espécies *Apis mellifera*, *Centris aenea*, *C. analis*, *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens* e *X. suspecta*. Uma espécie de borboleta (*Proteides mercurius*) e duas de beija-flor (*Amazilia* cf. *fimbriata* e *Phaethornis ruber*) foram consideradas polinizadoras ocasionais, por apresentarem comportamento adequado à polinização, porém com baixa frequência. As abelhas *Trigona spinipes*, *Trigona* sp., *Frieseomelitta doederleini*, *Augochlora* sp. e *Pseudaugochlora* sp. também foram consideradas polinizadoras ocasionais, uma vez que, ao coletarem pólen, nem sempre realizavam polinização. Como pilhadoras de néctar foram observadas *Trigona spinipes*, *Trigona* sp. e outra espécie de borboleta, *Panoquina* sp. Os resultados obtidos a partir dos experimentos de polinização controlada e da análise do

crescimento de tubos polínicos indicam que *C. echinata* é auto-incompatível com mecanismo do tipo ação tardia, apresentando baixa produção natural de frutos (9,2%).

Palavras-chave: pau-brasil, *Caesalpinia echinata*, Leguminosae, biologia floral, fenologia, polinização, biologia reprodutiva, auto-incompatibilidade de ação tardia, Brasil.

### ABSTRACT

Brazilwood (*Caesalpinia echinata* Lam.) is a Leguminosae tree native from the Brazilian Atlantic forest, with great historical and economic value to the country. It was intensively explored since the beginning of the colonization process, being now an endangered species. The aim of this work was to investigate the phenology and the reproductive biology of the species, analyzing its floral attributes and visitors and its breeding system, essential knowledge for its conservation. The study was carried out from October/2004 to December/2005 at the Tapacurá Ecological Station, a remnant of Atlantic forest in the Pernambuco state, Brazil, and a place of natural occurrence of the species. *Caesalpinia echinata* flowered with different intensities during the study period, the most intense occurring in February and December/2005. The fruiting followed flowering, being most intensive in March/2005. The flowers, disposed in racemose inflorescences on an average number of  $32,7 \pm 12,8$  (8-69), are melittophilous, zigomorphic, and pentamerous, with green sepals and yellow petals, the standard petal with a red blotch. Flowers are sweet scented, with sepals as main emitting areas. The androecium has ten stamens with filaments and anthers of two different sizes, five longer with larger anthers and five shorter with smaller anthers, alternately disposed. Pollen showed high viability ( $95,9\% \pm 4,84$ ; 86,5-99%), with no differences between the two types of anthers. The nectary is located in the hypanthium, at the base of the stamens, surrounding the gynophore. Nectar volume and sugar concentration were, on average,  $2,9 \pm 1,0 \mu\text{L}$  e  $29,52 \pm 9,4\%$ , respectively. The ovary has on average two ovules and the stigma has a fringed chamber. The P/O ratio was 5.631,2. The anthesis is diurnal, beginning at dawn and lasting for one day. The effective pollinators were medium sized to large bees: *Apis mellifera*, *Centris aenea*, *C. analis*, *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens* and *X. suspecta*. A butterfly (*Proteides mercurius*) and two hummingbird species (*Amazilia* cf. *fimbriata* e *Phaethornis ruber*) were considered occasional pollinators, because of their low frequency of visits. The bee species *Trigona spinipes*, *Trigona* sp., *Frieseomelitta doederleini*, *Augochlora* sp. and *Pseudaugochlora* sp. were also considered occasional pollinators, once they eventually contact stigma when collecting pollen. As nectar thieves were observed the bee species *Trigona spinipes* and *Trigona* sp. and another butterfly species, *Panoquina* sp.

The results of the controlled pollination experiments and the analyses of the pollen tubes growth indicate that *C. echinata* is a self-incompatible species with a late acting self-incompatibility system, showing a low natural fruit set (9,2%).

Key-words: brazilwood, *Caesalpinia echinata*, Leguminosae, floral biology, phenology, pollination, reproductive biology, late acting self-incompatibility, Brazil.

**ANEXO - Normas do periódico BIOTROPICA****BIOTROPICA**

Orientações para a preparação de manuscritos e ilustrações (última versão: dezembro de 2004).

**POR FAVOR, NÃO ENVIE SEU MANUSCRITO PARA O ESCRITÓRIO DA BIOTROPICA ATRAVÉS DE CORREIO ELETRÔNICO OU CORREIO POSTAL.**

O envio eletrônico tornou-se obrigatório à partir de janeiro de 2005, o que possibilitou acelerar tanto o processamento quanto a revisão dos manuscritos. Por favor, contate o escritório da Biotropica caso necessite de auxílio para enviar eletronicamente o seu manuscrito (biotropica@uconn.edu).

Formate seu artigo de acordo com as instruções descritas a seguir. Posteriormente, dirija-se ao seguinte endereço para o envio eletrônico do seu manuscrito (<http://www.mc.manuscriptcentral/bitr>).

**I. Instruções Gerais**

- ❑ Nós encorajamos a publicação de artigos em inglês, mas também aceitamos artigos em francês, português ou espanhol.
- ❑ Os manuscritos podem ser submetidos nas seguintes categorias, de acordo com os limites de palavras de cada uma delas:  
Artigo (3000-6000 palavras)  
Revisão (4000-8000 palavras)  
Comentário (1000-2000 palavras)  
Comunicação curta (1200-3000 palavras)
- ❑ Use o tamanho de página de 8,5” x 11” (tamanho carta). Use espaço duplo em todo o manuscrito, incluindo tabelas, legendas de figuras, resumo e literatura citada.
- ❑ Use o tamanho de 1” para todas as margens. Não justifique, alinhe o texto à esquerda. Evite o uso de hífen no final das linhas, não divida as palavras ao final das linhas.
- ❑ Use o tamanho 12 para as letras (de preferência use Times New Roman).
- ❑ Com exceção do primeiro parágrafo de cada seção tabule todos os demais.
- ❑ Use itálico ao invés de sublinhado. Use itálico para palavras não em inglês como por exemplo, *e.g.*, *i.e.*, *et al.*, *post-hoc* e *sensu*.
- ❑ Numere todas as páginas, ao final e à esquerda de cada página. Numere também todas as linhas de todas as páginas.
- ❑ Cite cada tabela e figura no texto. As tabelas e figuras devem ser numeradas na ordem em que elas são citadas no texto.
- ❑ Use estas abreviações: yr, mo, wk, d, h, min, sec, diam, km, cm, mm, ha, kg, g
- ❑ Para unidades evite o uso de negativos sobrescritos, use a notação /m<sup>2</sup> ao invés de m<sup>-2</sup>.
- ❑ Escreva por extenso antes da primeira vez que escrever uma abreviação, por exemplo, “...El Niño Southern Oscillation (ENSO)...”
- ❑ Números: escreva por extenso todos os números de um a dez, com exceção dos seguidos por unidades de medida (por exemplo, quatro árvores, 6mm, 35 sites, 7yr) ou em combinação com outros números (p.ex., 5 abelhas and 12 vespas). 1000 10,000; 0.13; 25 por cento no texto (e não 25%); g/m<sup>2</sup>; 21°C (sem espaço).
- ❑ Utilize por cento, por extenso, a não ser que esteja entre parênteses (20%).
- ❑ Abreviações de estatística: utilize itálico para P, N, t, F, G, U, X<sup>2</sup> (em itálico); mas utilize romano (sem itálico) para df, SD, SE, SEM.
- ❑ Cada referência citado no texto deve estar presente na seção Literatura Citada e viceversa. Verifique duplamente a consistência, a ortografia e os detalhes da publicação, incluindo cidade e país da editora.
- ❑ Cite apenas material já publicado ou artigos aceitos para a publicação; não cite artigos

em preparação ou submetidos.

- ❑ Para os artigos **ACEITOS** para publicação, mas ainda não publicados, cite-os desta forma Yaz (no prelo) ou (Yaz, no prelo).
- ❑ As citações no texto devem aparecer da seguinte forma:
  - ✓ Um único autor Yaz (1992) ou (Yaz 1992)
  - ✓ Dois autores Yaz e Ramirez (1992), (Yaz & Ramirez 1992)
  - ✓ Três ou mais autores Yaz *et al.* (1992), mas inclua **TODOS** os autores na seção Literatura Citada
- ❑ Cite o material não publicado ou artigos que ainda não estão no prelo da seguinte forma: J. Yaz (obs. pes. - ou em inglês pers. obs.) ou (J. Yaz, dados não publicados - ou em inglês unpublished data). Iniciais e o sobre nome devem ser apresentados. **NÃO** são aceitos artigos em preparação ou submetidos!
- ❑ Utilize vírgulas para separar as referências (Yaz & Taz 1981, Ramirez 1983), **UTILIZE** ponto e vírgula para diferentes tipos de citações (Fig. 4; Tabela 2) ou com múltiplas datas para um autor (Yaz et al. 1983; Taz 1982, 1993). Ordene as referências por ordem cronológica, depois por ordem alfabética (Azy, 1980, Yaz, 1980, Azy 1985).
- ❑ Organize o artigo na seguinte ordem:
  - 1) Página com título
  - 2) Resumo
  - 3) Segundo resumo em inglês (caso submetido em espanhol, português ou francês)
  - 4) Palavras-chave
  - 5) Texto
  - 6) Agradecimentos
  - 7) Literatura citada
  - 8) Tabelas
  - 9) Apêndices (quando aplicável)
  - 10) Legendas das figuras (quando aplicável)
  - 11) Figuras

## II. Página Título

(Página 1, mas não a numere)

- ❑ Insira um cabeçalho duas linhas abaixo do topo da página contendo os sobrenomes dos autores à esquerda (p.ex.: Yaz, Pirozki e Peigh) e um título curto à direita (p.ex.: Dispersão de Sementes por Primatas). Para este título utilize letras maiúsculas nas primeiras letras de cada palavra; não exceda 50 caracteres.
- ❑ Escreva o título alinhado à esquerda e aproximadamente no meio da página, em negrito e com as iniciais em maiúscula, normalmente com não mais do que 12 palavras, seguido por sobrescrito no. 1 (para a nota de rodapé descrita abaixo).
- ❑ Abaixo do título, inclua o(s) nome(s) do(s) autor(es), afiliação(ões), e endereço(s) completo(s) não abreviado(s). Use número(s) sobrescrito(s) após o(s) nome(s) do(s) autor(es) para indicar a(s) localização(ões) atual(is) caso diferentes da(s) apresentada acima. No caso de artigos com múltiplos autores, nota de rodapé pode ser adicionada com sobrescrito numerado para indicar o autor responsável pela correspondência e o endereço eletrônico (e-mail). Veja exemplos em um número recente da Biotropica.
- ❑ Todo artigo deve ter a nota de rodapé no. 1:
 

1 Recebido \_\_\_\_\_; revisão aceita \_\_\_\_\_ (o editor da Biotropica irá completar estes dados).
- ❑ As outras notas de rodapé da página de título são numeradas a seguir com informações pertinentes às notas de rodapé.

## III. Página Resumo

(Página 2)

- ❑ Os resumos devem ser concisos (máximo de 250 palavras para artigos e revisões; 75 palavras para comunicações curtas; não haverá resumo para comentários). Inclua uma descrição breve dos objetivos, materiais e métodos, resultados e os seus significados.
- ❑ Não utilize abreviações nos resumos.
- ❑ Nós recomendamos dois resumos, um em inglês e outro na língua do país onde o estudo foi realizado.
- ❑ Após os resumos redija até 10 palavras-chave – conceitos principais e espécie, em ordem alfabética. Também inclua a descrição da região e do local. Siga o estilo abaixo.
- ❑ Palavras-chave (Key words): *Miconia argentea*; seed dispersal; Panama; tropical wet forest. Palavras-chave apenas em inglês.

#### **IV. Texto**

(Página 3 etc.) Siga as instruções gerais abaixo (Seção I).

- ❑ Não nomeie o tópico Introdução. Os nomes dos tópicos principais são Métodos, Resultados e Discussão
- ❑ Nomes dos tópicos principais: todas as letras em maiúsculo e em negrito. Alinhados à esquerda e em uma única linha.
- ❑ Subtópicos: Primeiras Letras Maiúsculas e as demais minúsculas (ou sublinhadas), alinhados à esquerda, comece a sentença com duplo hífen na mesma linha.
- ❑ Não use mais do que três níveis de tópicos e somente se estritamente necessário.
- ❑ Evite o uso de notas de rodapé nesta seção.

#### **V. Literatura Citada**

(Continue numerando as páginas e mantenha o espaço duplo)

- ❑ Não são aceitos títulos “em preparação” ou “submetidos”; cite apenas artigos publicados ou “no prelo” (“in press”). Citações “no prelo” devem Ter sido aceitas para publicação. Inclua o periódico ou editora.
- ❑ Verifique todas as citações em relação às fontes originais, especialmente títulos dos periódicos, acentos, acentos característicos da língua original e ortografia em outras línguas que não o inglês.
- ❑ Cite as referências em ordem alfabética a partir do sobrenome do primeiro autor. Referências de um único autor precedem os trabalhos de um mesmo autor em parceria com outros, independentemente da ordem cronológica.
- ❑ Liste os trabalhos de um mesmo autor seguindo a ordem cronológica, começando pelos trabalhos mais antigos.
- ❑ Utilize 3-hífenos quando o(s) autor(es) for(em) o(s) mesmo(s) que o(s) da citação precedente.
- ❑ Insira um ponto (.) e um espaço após a inicial de cada nome do(s) autor(es); exemplo: YAZ, A. B., AND B. AZY. 1980.
- ❑ Nomes dos autores: utilize fonte normal e em caixa alta.
- ❑ Espaço duplo. Formate o parágrafo com deslocamento de 1,25 cm.
- ❑ Deixe um espaço entre volume e número de páginas. 27(4): 3-12.
- ❑ Artigo em livro...Exemplo: AZY, B. 1982. Título do capítulo. In G. Yaz (Ed.) Título do livro, pp. 24-36. Black Publications, Oxford, England.

#### **VI. Tabelas**

(Continue a numerar as páginas)

- ❑ Cada tabela deve começar em uma página separada, em duplo espaço. O número da tabela deve ser em algarismo arábico seguido por um ponto. Clique duas vezes no tabulador e a PRIMEIRA palavra do título em letras maiúsculas. Todo o título da tabela deve ser em itálico, exceto as palavras que normalmente são escritas em itálico.
- ❑ Indicadores de nota de rodapé devem ser letras minúsculas sobrescritas (a, b, c etc.).
- ❑ Não utilize linhas verticais nas tabelas.

## **VII. Legendas das Figuras**

(Continue a numerar as páginas)

- ❑ Legendas em espaço duplo. Todas as legendas em uma única página.
- ❑ Digite as legendas na forma de parágrafos, começando com “FIGURA” 9letras maiúsculas) e número.
- ❑ Não inclua “símbolos exóticos” (linhas, pontos, triângulos etc.) nas legendas das figuras; também não os inclua nas figuras ou refira-se a eles pelos nomes nas legendas das figuras.

## **VIII. Preparação das Ilustrações ou Gráficos**

Informações mais detalhadas sobre a submissão eletrônica podem ser encontradas na página <http://www.blackwellpublishing.com/authors/digill.asp>

- ❑ Fotografias em preto e branco, desenhos ou gráficos devem ser todos referenciados como figuras. Consulte o editor sobre figuras coloridas. A reprodução será virtualmente idêntica a que foi submetida; defeitos não serão corrigidos. Consulte um exemplar recente da Biotropica para exemplos.
- ❑ Para o propósito de revisão dos manuscritos, você poderá submeter as figuras eletronicamente como um documento em PDF.
- ❑ Formatos de arquivos nativos (Excell, DeltaGraph, SigmaPlot etc.) não são usados na produção. Quando seu manuscrito for aceito para publicação, devido às questões de produção, os autores serão questionados à respeito se a submissão dos seus artigos poderá ser feita na forma de:
  - Texto e tabelas juntos em um único arquivo Word.
  - Gravuras em nanquim (gráficos de vetores) como EPS, com resolução mínima de 300 dpi no tamanho final.
  - Arquivos Bitmap (pontilhados ou imagens fotográficas) como arquivos TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi no tamanho final.
- ❑ Figuras finais poderão ser reduzidas. Assegure-se de que todo o texto seja legível quando reduzido ao tamanho apropriado. Use fontes de legendas grandes.
- ❑ Ilustrações em preto e branco poderão ser submetidas como Phtomechanical Transfers (PMTs) ou outros tipos de processos de transferência em papéis fotossensíveis mas que resultem em reduções de alta qualidade para as dimensões do periódico.
- ❑ Caso tenha que agrupar vários gráficos ou fotografias, monte-os em uma cartolina branca, coloque-os juntos sem espaços entre fotografias ou gráficos adjacentes. Fixe-os com cola seca (cola em bastão), ou equivalente, deixando ao menos 2,5 cm (1”) de margem em todos os lados.
- ❑ Cada figura agrupada em uma prancha requererá um número (p.ex. 1a, 1b). Utilize letras minúsculas em figuras agrupadas e nas referências do texto.
- ❑ Use contrastes fortes para gráficos de barras. É preferível preto ou branco sólido.

## **IX. Comunicações Curtas (1200-3000 palavras)**

- ❑ Não são divididas em seções.
- ❑ 1 figura ou 1 tabela apenas.

**QUESTÕES? POR FAVOR CONSULTE O GUIA ON-LINE DO USUÁRIO NA CENTRAL DE MANUSCRITOS PRIMEIRO ANTES DE CONTATAR O ESCRITÓRIO EDITORIAL.**

Tel. Editor: 860 486 0805

Fax.: 860 486 6364

e-mail: [eeb.biotropica@uconn.edu](mailto:eeb.biotropica@uconn.edu)

Por favor, utilize este e-mail para todas as questões concernentes aos manuscritos e correspondência editorial.