

Marina da Silva Melo

**FERTILIDADE DE *Byrsonima pachyphylla* A. Juss. EM UMA PAISAGEM  
FRAGMENTADA DO CERRADO**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edivani Villaron Franceschinelli

GOIÂNIA - GO  
MARÇO – 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

Marina da Silva Melo

Fertilidade de *Byrsonima pachyphylla* A. Juss. em uma paisagem fragmentada do  
Cerrado

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edivani Villaron Franceschinelli

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Ecologia e Evolução/  
UFG como requisito parcial para obtenção  
do Título de Mestre em Ecologia e  
Evolução.

GOIÂNIA - GO  
MARÇO – 2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
GPT/BC/UFG**

Melo, Marina da Silva.  
M528f Fertilidade de *Byrsonima pachyphylla* A. Juss. em uma paisagem fragmentada do Cerrado [manuscrito] / Marina da Silva Melo. - 2010.  
69 f. : figs, tabs.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edivani Villaron Franceschinelli  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,  
Instituto de Ciências Biológicas, 2010.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras e tabelas.

1. Fertilidade de *Byrsonima pachyphylla* 2. Fragmentação do cerrado I. Título.

CDU: 582.755.1(213.54)

## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas me ajudaram a subir mais esse degrau na minha formação acadêmica e na minha vida. A começar pelos meus pais que sempre incentivaram os meus estudos e os de minha irmã, sempre dividindo conosco as alegrias das conquistas, e estendo as mãos para nos ajudar a levantar dos eventuais e necessários “tombos”. Agradeço também minha querida mana, Maísa, pelos vários conselhos, incentivos e pelas brigas e brincadeiras.

O mestrado me proporcionou a oportunidade de fazer grande amigos, como meus companheiros de turma, juntos aprendemos muito. Agradeço em especial ao Ronny e a Danielle, pelas muitas horas de conversa, pelas ajudas com idéias para meu trabalho e nas coletas. Ainda agradeço ao Marcos, pela companhia e ajuda na procura por fragmentos.

Obrigado aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, destacando os que foram com minha turma no curso de campo, não só pelos valiosos ensinamentos como também pelos momentos de descontração durante um curso de intensa aprendizagem. Agradeço em especial ao Paulo pelas muitas vezes que me recebeu sanando minhas dúvidas.

Tenho um agradecimento especial a fazer a minha orientadora, Edivani, não só pela orientação, mas também por me ajudar em momentos em que estava extremamente ocupada, e por acreditar que eu conseguiria executar o projeto mesmo com as coletas muito atrasadas.

Agradeço muitííssiiiiimmoo ao meu ecólogo encantado e amado marido, por absolutamente TUDO, pelas tantas leituras e correções de projeto, apresentações e do trabalho final, por ficar de motorista, por ajudar sempre nas minhas coletas até sacrificando seus compromissos, por me aturar nos dias de estresse e nervosismo, e por sempre me incentivar e acreditar em mim.

Agradeço a Deus, em quem minha mãe me ensinou a ter fé, pelas oportunidades e portas abertas que encontrei ao longo do mestrado.

Por fim, agradeço a CAPES e a UFG, pelas bolsas que viabilizaram o meu trabalho.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS .....	x
CAPÍTULO 1: DETERMINANTES LOCAIS DA FERTILIDADE DE <i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.....	
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUÇÃO .....	3
OBJETIVOS .....	8
METODOLOGIA.....	9
Local de coletas .....	9
Densidade populacional.....	10
Tamanho dos indivíduos.....	11
Luminosidade.....	11
RESULTADOS .....	13
DISCUSSÃO .....	18
Densidade populacional.....	18
Luminosidade.....	20
Tamanho da planta .....	21
CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24
CAPÍTULO 2: O EFEITO DO TAMANHO E DA DISTÂNCIA ENTRE FRAGMENTOS NA FERTILIDADE DE <i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.....	
RESUMO .....	31
ABSTRACT .....	32
INTRODUÇÃO .....	33

OBJETIVOS .....	39
METODOLOGIA.....	40
Área de Estudo .....	40
Local e período de coletas .....	40
Densidade populacional e tamanho dos indivíduos .....	42
Fertilidade .....	42
Efeito da distância entre os fragmentos .....	42
RESULTADOS .....	44
DISCUSSÃO .....	48
Densidade populacional e tamanho dos indivíduos .....	48
Fertilidade .....	49
Distância entre os fragmentos .....	51
CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

## LISTA DE FIGURAS

### **Capítulo 1: Determinantes locais da fertilidade de *Byrsonima pachyphylla***

Figura 1: Localização geográfica do Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.....	9
Figura 2: Indivíduo de <i>B. pachyphylla</i> estudado no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.....	10
Figura 3: Inflorescências de <i>B. pachyphylla</i> recebendo visitas de abelhas.....	10
Figura 4: Análise de regressão linear simples entre a densidade populacional e a fertilidade de <i>B. pachyphylla</i> em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.....	13
Figura 5: Análise de regressão linear simples entre a cobertura do dossel e a fertilidade dos indivíduos de <i>B. pachyphylla</i> em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás. Os valores de cobertura do dossel variam de 0 a 1, sendo que 0 é o valor de ausência de cobertura e 1 a cobertura total do dossel.....	14
Figura 6: Análise de regressão linear entre a cobertura do dossel e altura dos indivíduos de <i>B. pachyphylla</i> em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás. Os valores de cobertura do dossel variam de 0 a 1, sendo que 0 é o valor de ausência de cobertura e 1 a cobertura total do dossel.	14
Figura 7: Análise de regressão linear simples entre a altura e a fertilidade dos indivíduos de <i>B. pachyphylla</i> em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.....	15
Figura 8: Análise de regressão linear simples entre o diâmetro a altura da base (30 cm) e a fertilidade dos indivíduos de <i>B. pachyphylla</i> em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.....	16
Figura 9: Análises de regressão linear entre a altura das plantas e números de flores e frutos e entre o diâmetro a altura da base (30 cm) e números de flores e frutos dos indivíduos de <i>B. pachyphylla</i> em uma área de cerrado <i>sensu stricto</i> no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.....	17
<b>Capítulo 2: O efeito do tamanho e da distância entre fragmentos na fertilidade de <i>Byrsonima pachyphylla</i>.</b>	

Figura 1: Localização geográfica dos fragmentos estudados. No canto inferior esquerdo mapa do Brasil com o estado de Goiás destacado; acima mapa de Goiás com a área de estudo destacada. No mapa maior as áreas cinza correspondem à área urbana dos municípios de Hidrolândia e Aparecida de Goiânia.....	41
Figura 2: Análise de regressão linear simples entre a densidade populacional média de <i>B. pachyphylla</i> e o tamanho dos fragmentos de cerrado <i>sensu stricto</i> no município de Hidrolândia, Goiás.....	44
Figura 3: Análise de regressão linear simples entre o valor médio do diâmetro a 30 cm do solo dos indivíduos de <i>B. pachyphylla</i> e o tamanho dos fragmentos de cerrado <i>sensu stricto</i> no município de Hidrolândia, Goiás.....	45
Figura 4: Análise de regressão linear simples entre a altura média dos indivíduos de <i>B. pachyphylla</i> e o tamanho dos fragmentos de cerrado <i>sensu stricto</i> no município de Hidrolândia, estado de Goiás.....	45
Figura 5: Análise de regressão linear simples entre a fertilidade de <i>B. pachyphylla</i> e o tamanho dos fragmentos de cerrado <i>sensu stricto</i> no município de Hidrolândia, estado de Goiás.....	46
Figura 6: Autocorrelograma de Moran ( <i>I</i> de Moran) da fertilidade de <i>B. pachyphylla</i> em fragmentos de cerrado <i>sensu stricto</i> no município de Hidrolândia, estado de Goiás. A linha tracejada indica o valor do <i>I</i> de Moran esperado na ausência de autocorrelação espacial (-0.012).....	47

## LISTA DE TABELAS

### **Capítulo 2: O efeito do tamanho e da distância entre fragmentos na fertilidade de *Byrsonima pachyphylla*.**

Tabela 1: Tamanho e localização geográfica dos fragmentos estudados em Hidrolândia, Goiás.....	41
Tabela 2: Índices <i>I</i> de Moran para as cinco classes de distância e os níveis de significância estatística associados.....	47

# CAPÍTULO 1: DETERMINANTES LOCAIS DA FERTILIDADE DE *Byrsonima pachyphylla* A. Juss.

## RESUMO

Aspectos físicos do ambiente e características intrínsecas das espécies vegetais determinam suas atividades vitais, como a reprodução. O objetivo do meu trabalho foi verificar se a cobertura do dossel, o tamanho e a densidade de plantas de *Byrsonima pachyphylla* influenciam na sua fertilidade. Calculei a densidade de *B. pachyphylla* em círculos de raio de 20 m ao redor de 30 indivíduos. Conteí todas as flores e frutos de todas as plantas e aferi a altura e o diâmetro a 30 cm da base (DAB<sub>30</sub>). Avaliei a cobertura do dossel por meio de fotografias do dossel ao redor dos indivíduos de *B. pachyphylla* e posterior estimativa da quantidade de luz que está exposta à planta, através da média da área coberta das fotografias. Fiz regressões lineares entre a fertilidade e a densidade, a cobertura de dossel e o tamanho da planta. Não encontrei quaisquer relações da densidade populacional ( $r^2=0,0090$ ;  $p=0,6188$ ), ou da cobertura do dossel ( $r^2=0,0089$ ;  $p=0,6204$ ), ou do tamanho (altura:  $r^2=0,0013$ ;  $p=0,8512$  e DAB<sub>30</sub>:  $r^2=0,0309$ ;  $p=0,3530$ ) com a fertilidade de *B. pachyphylla*. Estes resultados demonstram que os fatores investigados não estão influenciando a fertilidade das populações analisadas de *B. pachyphylla*. A densidade populacional não influencia na atratividade de polinizadores, que parece ser mais determinada pelo comportamento fenológico da planta. A luminosidade foi um recurso abundante para *B. pachyphylla*, não limitando a reprodução. O tamanho das plantas é resultado da interação de vários fatores e não interfere no sucesso reprodutivo feminino da planta.

**Palavras-chave:** densidade populacional, cobertura de dossel, tamanho de planta, *Byrsonima pachyphylla*.

## ABSTRACT

Physical aspects of the environment and intrinsic characteristics of the plant species determine its vital activities, such as reproduction. The goal of my work was to verify whether canopy coverage, plant size and density of *B. pachyphylla* influence their fertility. I calculated the density of *B. pachyphylla* within circles of 20 m radius around 30 individuals. I counted all flowers and fruits of every plant and measured their height and diameter at 30 cm from the base (DAB<sub>30</sub>). I quantified the canopy coverage taking photos of the canopy around the sampled plants and estimated the amount of light using the average of the covered area of photographs. I did linear regressions between fertility and density, canopy coverage and size of plant. I did not find any relationship between population density ( $r^2 = 0.0090$ ,  $p = 0.6188$ ), neither canopy coverage ( $r^2 = 0.0089$ ,  $p = 0.6204$ ), neither plant size (height:  $r^2 = 0.0013$ ,  $p = 0.8512$  and DAB<sub>30</sub>:  $r^2 = 0.0309$ ,  $p = 0.3530$ ) with the fertility of *B. pachyphylla*. These results demonstrate that fertility of *B. pachyphylla* is determined by other factors not investigated. The population density does not influence the attractiveness of pollinators, which seems to be more determined by the phenological behavior of plant. The light was an abundant resource for *B. pachyphylla* and do not limit the reproduction. The plant size is the result of the interaction of several factors and does not necessarily promote greater reproductive capacity.

**Key-words:** population density, canopy coverage, plant size, *Byrsonima pachyphylla*.

## INTRODUÇÃO

Componentes da história de vida de espécies vegetais, como estabelecimento, distribuição, abundância e fertilidade, são afetados pelos recursos necessários para o desenvolvimento dos organismos, pelas interações intra e interespecíficas e pelas condições ambientais em suas populações (Silvertown, 2004). A união de todos esses elementos determinantes dos componentes da história de vida forma o nicho da espécie. Hutchinson (1957) conceituou nicho a soma de todos os fatores ambientais agindo sobre o organismo; o nicho assim definido é uma região de um hiper-espaco n-dimensional, considerando variáveis físicas e biológicas, o nicho fundamental de qualquer espécie irá definir suas propriedades ecológicas. Entretanto, as condições em que um organismo (espécie, população) pode persistir (sobreviver e reproduzir-se) são em geral maiores do que as condições em que o organismo realmente vive (Silvertown, 2004). Estas reduções são causadas por interações bióticas. Segundo esta visão quanto maior a flexibilidade de um organismo maior sua chance de sucesso reprodutivo e evolutivo.

Aspectos físicos do ambiente influenciam processos vitais realizados pelas espécies vegetais. Fatores ecológicos como intensidade, qualidade e duração da luz, concentração de dióxido de carbono, temperatura, composição do solo, concentração de nutrientes e umidade relativa do ar são diretamente relacionados com as taxas de fotossíntese realizadas pelas plantas (Thomas, 1955). As plantas são capazes de responder de formas diferentes a gradientes de luz e sombreamento. A luz é um sinal ambiental que desencadeia mudanças no metabolismo e desenvolvimento das plantas, podendo, portanto, influenciar no crescimento, forma e reprodução (Fankhauser & Chory, 1997). Uma vez que a interceptação da luz é uma das variáveis mais importantes para a determinação da produtividade energética das plantas, a cobertura de dossel é um aspecto a ser avaliado como fator limitante na sobrevivência e reprodução dos indivíduos.

A eficiência da utilização da luz também é influenciada pela arquitetura da copa, porque a penetração da luz através da copa de uma planta é dependente de sua organização e estrutura. A arquitetura da copa varia substancialmente de acordo com a espécie vegetal e durante o curso de desenvolvimento de cada planta (Barthélémy & Caraglio, 2007). A estrutura, por sua vez, é determinada pela

composição etária das folhas e pela morfologia, tamanho, ângulo de inserção, orientação, distribuição e espaçamento de folhas e ramos (Majerowicz, 2004).

As espécies arbóreas variam grandemente na sua capacidade de responder à alteração na disponibilidade de luz (Thompson *et al.*, 1992). A capacidade de aclimatação a mudanças na intensidade de luz é variável de espécie para espécie e pode depender do gradiente de luz que as espécies recebem ou de seu estágio sucessional (Poorter, 1999). O cerrado é uma vegetação com flora distinta, apresenta grande diversidade fisionômica e florística em seus domínios, que correspondem a um gradiente de biomassa, compreendendo o campo sujo, campo cerrado, cerrado e cerradão (Durigan *et al.* 2002). Estas fisionomias ocorrem em condições de solos profundos, bem drenados, ácidos, com altos níveis de alumínio e com baixo teor de matéria orgânica (Coutinho, 2002). No domínio do cerrado a radiação solar é geralmente bastante intensa proporcionada por um número elevado de dias de céu descoberto e pela natureza da vegetação rala, que produz sombra mínima (Coutinho, 2002). Diante disto, é esperado que a radiação solar seja uma importante variável para as espécies vegetais do Cerrado.

A disponibilidade de recursos combinada ao genótipo da planta determina o estabelecimento, o crescimento e a eficiência do indivíduo em reproduzir-se (Bonser & Aarssen, 2009). A limitação de recursos provoca competição, resultando em variação no tamanho das plantas de uma mesma espécie (Weiner & Thomas, 1986). Maiores tamanhos são associados a indivíduos mais eficientes na captação e utilização dos recursos, estes tendem a ter maior sucesso reprodutivo que os indivíduos menores (Aarssen & Taylor, 1992). Por outro lado, pode haver uma demanda conflitante entre investir em crescimento e em reprodução. Na ocorrência de perturbações no ambiente, como incêndios, que são comuns no Cerrado (Ribeiro & Walter, 1998), plantas de portes maiores podem ter menores chances de reprodução sexuada (Aarssen, 2007; Hoffman, 1999). Assim o resultado final do crescimento é a expressão do equilíbrio entre processos endógenos de crescimento e restrições exógenas exercidas pelo ambiente (Barthélémy & Caraglio, 2007).

O desenvolvimento das plantas superiores ocorre em três fases obrigatórias: a fase juvenil (não há reprodução), a fase adulta vegetativa (o indivíduo é capaz apenas de realizar reprodução vegetativa) e a fase adulta reprodutiva (o indivíduo é

capaz de se reproduzir sexualmente) caracterizada nas angiospermas pela produção de flores, frutos e sementes. O estímulo indutor da floração resulta de fatores endógenos e ambientais. Fatores endógenos são, por exemplo, o estado nutricional, os teores hormonais e os ritmos circadianos. Já os fatores ambientais são o comprimento relativo dos dias (fotoperíodo), a irradiância (quantidade de luz), a temperatura e a disponibilidade de água (Vaz *et al.*, 2004).

Existem dois padrões de floração baseado no tempo de duração, espécies com a floração sincrônica de muitas flores que ocorre em um período curto de tempo, e espécies com produção de poucas flores por um período de tempo estendido, contudo estes padrões podem variar entre estes dois extremos (Augspurger, 1983). Os eventos de floração sincrônica entre indivíduos de uma mesma espécie, ou até entre indivíduos de espécies diferentes, permitem uma maior atratividade para os polinizadores, sendo uma estratégia muito usada pelas espécies vegetais, porém a sincronia da floração de uma espécie vegetal pode promover a ocorrência de cruzamentos intra-específicos (Rathcke & Lacey, 1985). Além disso, eventos de floração sincrônica entre espécies diferentes também podem levar ao aumento da possibilidade de polinização cruzada entre espécies, promovendo desperdício de recursos (Rathcke & Lacey, 1985).

Visita consecutiva às flores de uma mesma planta por um polinizador promove a geitonogamia (Karron *et al.*, 2009). A geitonogamia é o cruzamento resultado da polinização de uma flor pelo pólen de outra flor da mesma planta. Acrescentando a este efeito o fato de que a proximidade espacial entre indivíduos geralmente reflete algum grau de parentesco (Koelewijn, 2004), se estes indivíduos florescem exatamente nos mesmos dias podem ocorrer cruzamentos de plantas geneticamente parecidas, favorecendo a endogamia biparental (Eckert, 2000). A sincronia de floração também pode levar a uma competição entre as plantas por polinizadores, já que a oferta de flores aos polinizadores é grande, estes podem escolher aquelas que julgarem mais atraentes e compensadoras (Mitchell *et al.*, 2009).

Muitas perturbações ecológicas como desmatamentos, queimadas e aumento de espécies invasoras reduzem a densidade das populações de plantas (Cunningham, 2000). Decréscimos na densidade de plantas geralmente são assumidos como causa na diminuição do sucesso reprodutivo, já que contribui na

limitação do pólen disponível e na redução da atratividade de polinizadores (Knight *et al.*, 2005). Alternativamente, o aumento da distância entre plantas percorrida pelos polinizadores, como ocorre em uma baixa densidade populacional, pode aumentar a proporção de cruzamento entre indivíduos não aparentados levando a um maior sucesso reprodutivo (Lu, 2000). Entretanto, a manutenção da população envolve o balanço entre o número de mortes e o número de novos indivíduos que se estabeleceram no ambiente, o que é dificultado em pequenas densidades populacionais. Pequenas populações são geralmente associadas a um limitado conjunto gênico, além de provavelmente refletirem condições ambientais restritivas ao estabelecimento e crescimento de novos indivíduos (Ward & Johnson, 2005).

A avaliação destes componentes da história de vida de espécies vegetais do cerrado pode auxiliar no entendimento de como este Bioma se mantém diante das adversidades impostas pela modificação da paisagem, através das atividades antrópicas. A família Malpighiaceae é significativamente representada no Cerrado, sendo facilmente reconhecida pela presença de elaióforos extraflorais dispostos aos pares na base das sépalas. Esta família possui distribuição tropical e subtropical, incluindo cerca de 70 gêneros e 1200 espécies. No Brasil ocorrem 38 gêneros e aproximadamente 300 espécies (Souza & Lorenzi, 2005).

As plantas da família Malpighiaceae são polinizadas por abelhas fêmeas da família Apidae, tribos Centridini, Tetrapediini e Tapinotaspidini, coletoras de óleo (Buchmann, 1987). As abelhas da tribo Centridini são consideradas os polinizadores efetivos do gênero *Byrsonima* e visitam muitas flores durante o vôo (Alves-dos-Santos *et al.*, 2007). Esta tribo é constituída por abelhas de médio a grande porte, pilosas, robustas, com bonitos padrões de cores e de vôo rápido. Todas as suas espécies são de hábitos solitários (Silveira *et al.*, 2002). O comportamento deste grupo é generalista, mas muito associado à família Malpighiaceae na coleta de óleo e à família Fabaceae na coleta de pólen (Aguilar *et al.*, 2003).

O gênero *Byrsonima*, cujas espécies são conhecidas popularmente como murici, ocorre principalmente no Cerrado. O murici é caracterizado como um arbusto muito ramificado, de ramos ascendentes e eretos, de base lenhosa, de 1-4m de altura, apresenta folhas coriáceas, é nativo dos cerrados do Brasil (Lorenzi & Matos, 2002). As flores das espécies de *Byrsonima* estão reunidas em inflorescência tipo racemo terminal simples; cinco sépalas cada uma com duas glândulas externas

produtoras de óleo, os elaióforos; cinco pétalas unguiculadas, amarelas ou alboróseas, e os frutos são drupas globosas que contém de uma a três sementes (Barros, 1992). *Byrsonima pachyphylla* A. Juss. é uma das espécies mais comuns deste gênero em formações savânicas do Cerrado (Oliveira & Paula, 2001). Cavalcanti & Ramos (2001) apontaram *Byrsonima crassa* Nied. como sinônimo júnior de *Byrsonima pachyphylla* A. Juss., sendo assim todos os trabalhos que se referem a *B. crassa* foram por mim considerados como sendo de *B. pachyphylla*.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi verificar se a densidade de plantas de *B. pachyphylla*, a luminosidade próxima às plantas analisadas e o tamanho destas plantas influenciam a fertilidade de *B. pachyphylla* em uma área de cerrado *sensu stricto*. Para isso testei as seguintes previsões:

1. Quanto maior a densidade de plantas de *B. pachyphylla* maior a sua fertilidade.
2. Indivíduos de *B. pachyphylla* em áreas com dossel mais aberto apresentam maior fertilidade do que indivíduos em áreas com dossel mais fechado.
3. Quanto maior o tamanho dos indivíduos de *B. pachyphylla* maior sua fertilidade.

## METODOLOGIA

### Local de coletas

Realizei as coletas de dados na área de proteção ambiental da Serra do Morro Feio (Figura 1), localizado no município de Hidrolândia, Goiás, a 33 quilômetros da capital do estado (entre as latitudes  $16^{\circ}53'$  S e  $16^{\circ}56'$  S e entre as longitudes  $49^{\circ}14'$  O e  $49^{\circ}13'$  O) entre os meses de julho e outubro de 2009, analisando 30 indivíduos de *B. pachyphylla* (Figuras 2 e 3). A área do Morro Feio é de 517 ha, com vegetação dominante do tipo cerrado *sensu stricto*, sem cursos d'água e com altitude máxima de 932 m. A área é formada por várias reservas legais de propriedades particulares e é utilizada como área de extração de metais, apresentando reservas de cromo, níquel e talco (Prefeitura de Hidrolândia, 2010).

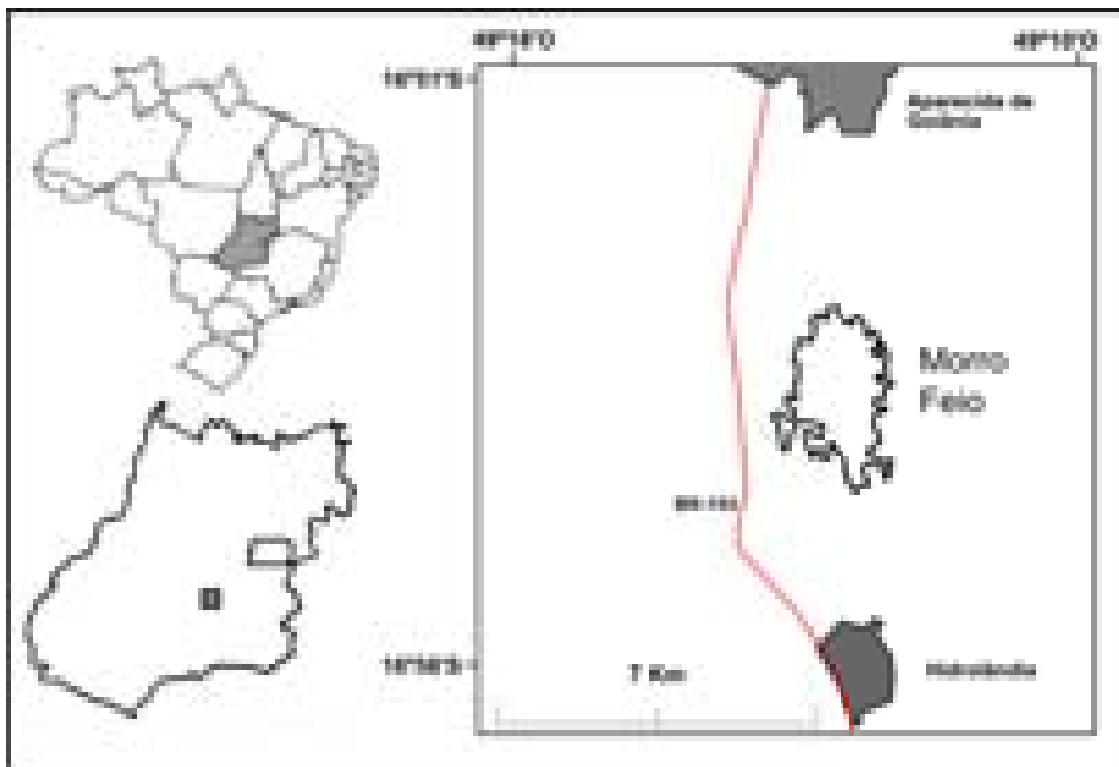


Figura 1: Localização geográfica do Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.



Figura 2: Indivíduo de *B. pachyphylla* estudado no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.



Figura 3: Inflorescências de *B. pachyphylla* recebendo visitas de abelhas.

### Densidade populacional

Para avaliar se os indivíduos de *B. pachyphylla* em parcelas com maior densidade apresentam maior fertilidade, mapeei 30 indivíduos aleatoriamente com aparelho de GPS. Calculei a densidade das plantas de *B. pachyphylla* em círculos de raio de 20 m ao redor de cada um dos 30 indivíduos. Contei o número de cicatrizes florais de todas as inflorescências presentes nas trinta plantas e o número

de frutos produzidos por estas plantas. Então, dividindo o número de frutos pelo número de flores produzidas nas plantas e multiplicando por cem obtive a taxa de produção de frutos por planta a cada cem flores produzidas, que representou a fertilidade de cada indivíduo. Fiz uma análise de regressão linear simples entre fertilidade e a densidade ao redor das 30 plantas analisadas.

#### Tamanho dos indivíduos

Com o objetivo de observar uma possível influência do tamanho do indivíduo na sua fertilidade, medi a altura e o diâmetro a 30 cm da base dos 30 indivíduos selecionados. Verifiquei por meio de análises de regressão linear a relação destas medidas com as medidas de fertilidade de cada indivíduo. As relações entre altura e o diâmetro a 30 cm da base e números de flores e frutos produzidos pelos 30 indivíduos de *B. pachyphylla* também foram testadas através de análises de regressão linear.

#### Luminosidade

Avaliei a influência do dossel na luminosidade e, conseqüentemente, na fertilidade de *B. pachyphylla* por meio de fotografias do dossel ao redor dos indivíduos de *B. pachyphylla* e posterior estimativa da quantidade de luz que está exposta à planta. Neste procedimento, posicionei a máquina fotográfica em um tripé a dois metros do indivíduo e a 70 cm do solo, com a lente voltada para cima, e fiz três fotografias consecutivas do dossel. Repeti esse procedimento nas quatro direções (norte, sul, leste e oeste da planta), totalizando 12 fotos que compuseram uma média de luminosidade do dossel ao redor de cada indivíduo de *B. pachyphylla* estudado. Padronizei todos os parâmetros da fotografia que poderiam influenciar a captura da luminosidade, que foram: velocidade de abertura da lente (100), abertura da lente (4.0) e ISO (90). A máquina fotográfica utilizada para este procedimento foi uma Sony Cyber-Shot DSC - H-7 8.1megapixels.

Importei as fotografias para o programa GIMP 2.4.4. (Kimball & Mattis, 2007), as transformei em de preto e branco e contei a quantidade de pixels pretos em cada fotografia. Posteriormente, dividi a quantidade de pixels pretos pela quantidade de

pixels total de cada fotografia e multipliquei por 100, para ter a porcentagem de pixels pretos. A média das 12 porcentagens da área da fotografia coberta pelo dossel foi assumida como o valor de cobertura do dossel em cada planta. Realizei uma regressão linear simples entre a cobertura do dossel e a fertilidade da planta. Para a realização da regressão linear simples os dados da porcentagem de cobertura do dossel tiveram a normalidade corrigida pela transformação do arco seno da raiz quadrada da porcentagem de cobertura de dossel de cada planta, de acordo com Krebs (1999). Também realizei uma regressão linear simples entre a altura da planta e a cobertura de dossel com o intuito de verificar se as plantas mais expostas ao sol são as maiores.

## RESULTADOS

Indivíduos de *B. pachyphylla* em parcelas com maiores densidades populacionais não apresentaram maior fertilidade ( $r^2 = 0,0090$ ;  $p = 0,6188$ ). Não foi encontrada qualquer relação entre a densidade populacional e a fertilidade de *B. pachyphylla* (Figura 4).

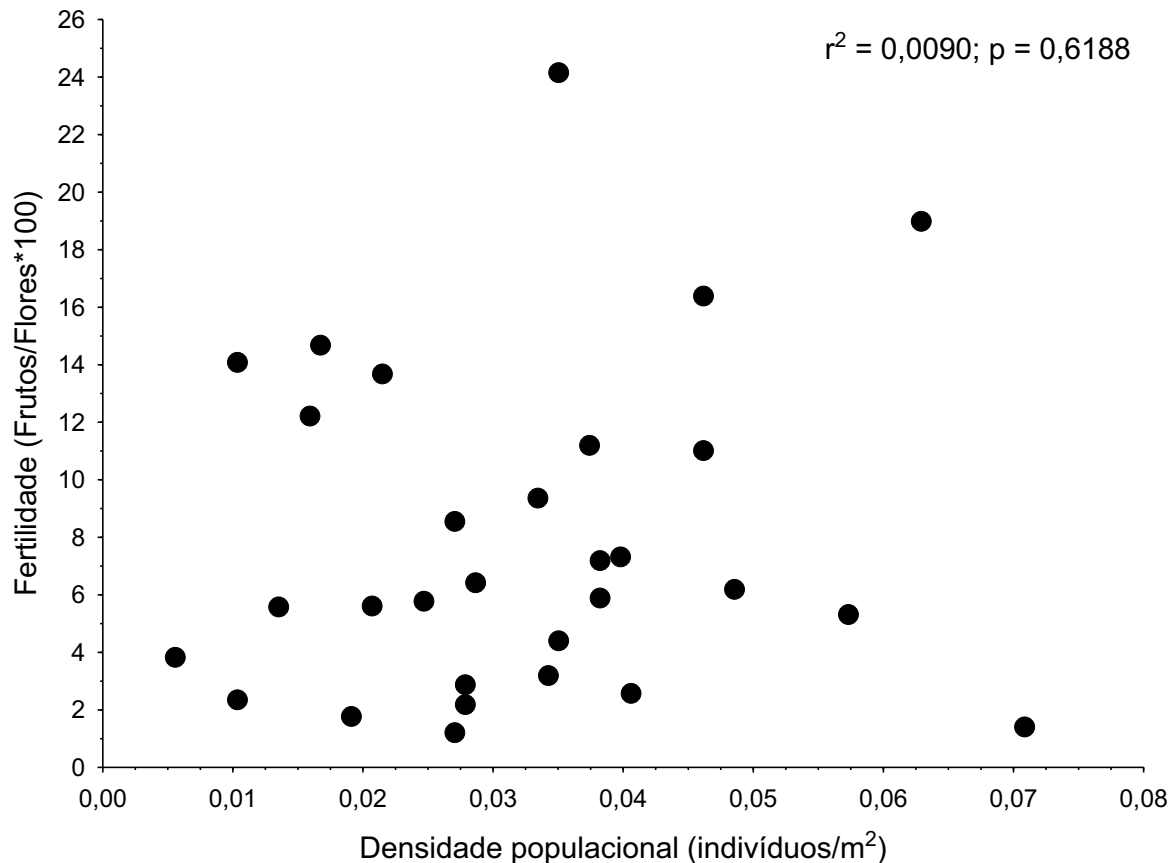


Figura 4: Análise de regressão linear simples entre a densidade populacional e a fertilidade de *B. pachyphylla* em uma área de cerrado *sensu stricto* no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.

Também não houve correlação entre a cobertura de dossel e a fertilidade de *B. pachyphylla*. A variação da luminosidade entre os indivíduos analisados não foi muito grande, sendo que indivíduos de *B. pachyphylla* em locais mais sombreados não sofrem interferência negativa na sua fertilidade (Figura 5). Além disso, uma maior exposição ao sol também não induz a uma maior fertilidade em *B. pachyphylla*, nem a uma maior altura (Figura 6).

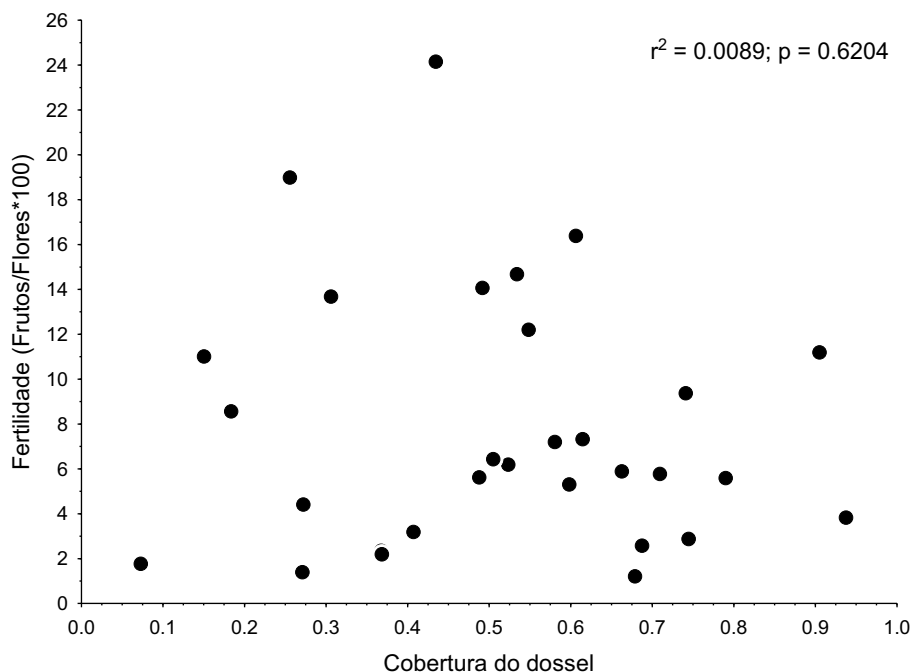


Figura 5: Análise de regressão linear simples entre a cobertura do dossel e a fertilidade dos indivíduos de *B. pachyphylla* em uma área de cerrado *sensu stricto* no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás. Os valores de cobertura do dossel variam de 0 a 1, sendo que 0 é o valor de ausência de cobertura e 1 a cobertura total do dossel.

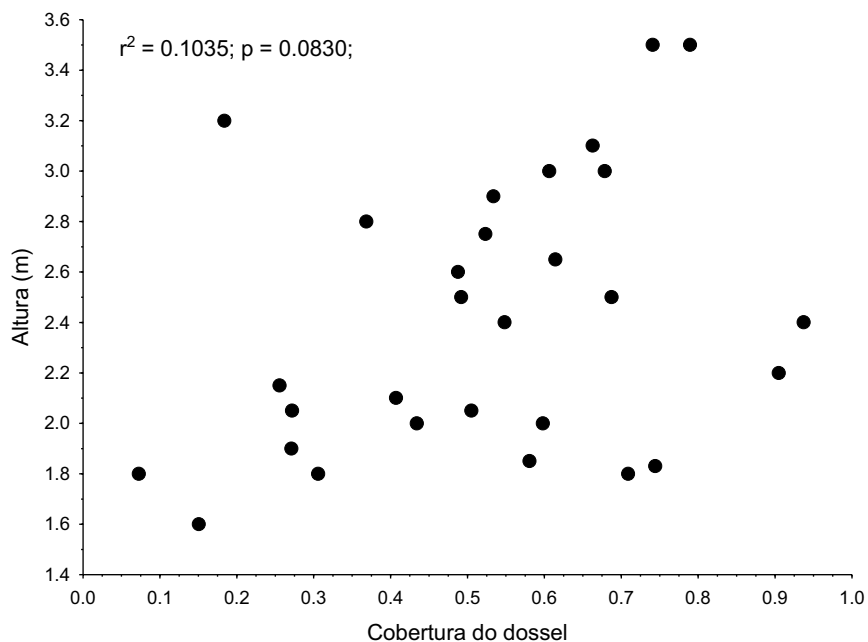


Figura 6: Análise de regressão linear entre a cobertura do dossel e altura dos indivíduos de *B. pachyphylla* em uma área de cerrado *sensu stricto* no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás. Os valores de cobertura do dossel variam de 0 a 1, sendo que 0 é o valor de ausência de cobertura e 1 a cobertura total do dossel.

As análises de regressão entre o tamanho dos indivíduos de *B. pachyphylla* e sua fertilidade não apresentaram nenhum padrão significativo que demonstre a influência do tamanho da planta na fertilidade de *B. pachyphylla* (Figuras 7 e 8). Entretanto, como apresentado na figura 9, as plantas mais altas produziram mais flores. Porém, isto não ocasionou uma maior produção de frutos. Este comportamento não ocorreu com a medida de diâmetro a altura de 30 cm da base.

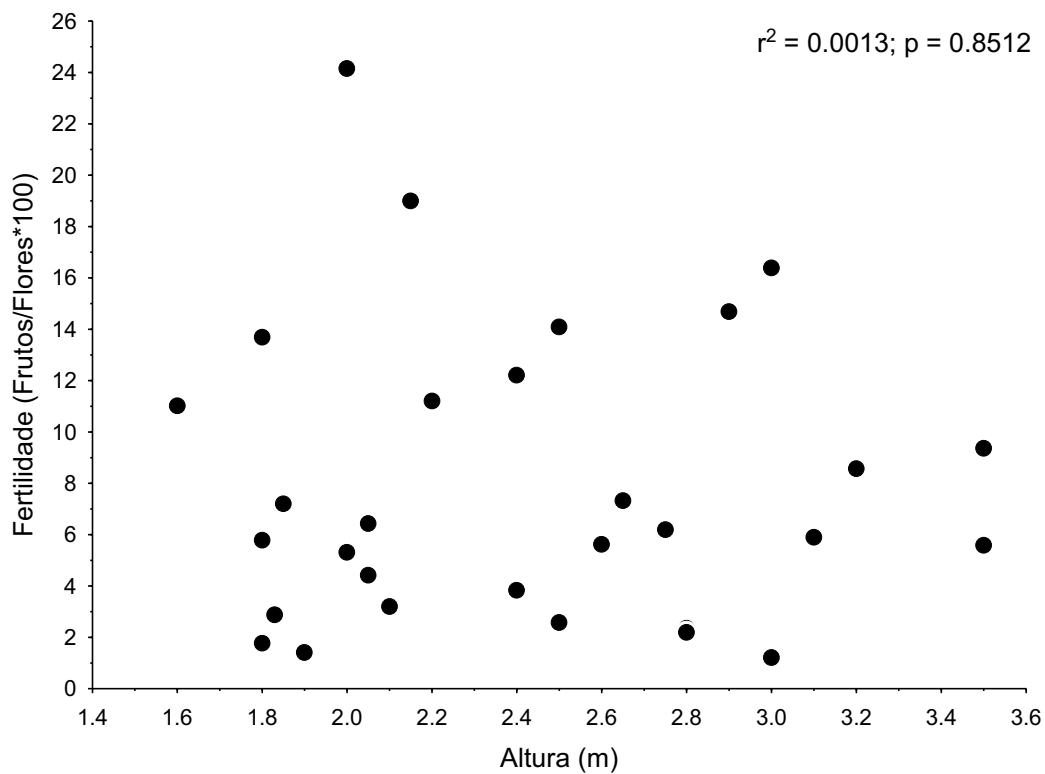


Figura 7: Análise de regressão linear simples entre a altura e a fertilidade dos indivíduos de *B. pachyphylla* em uma área de cerrado *sensu stricto* no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.

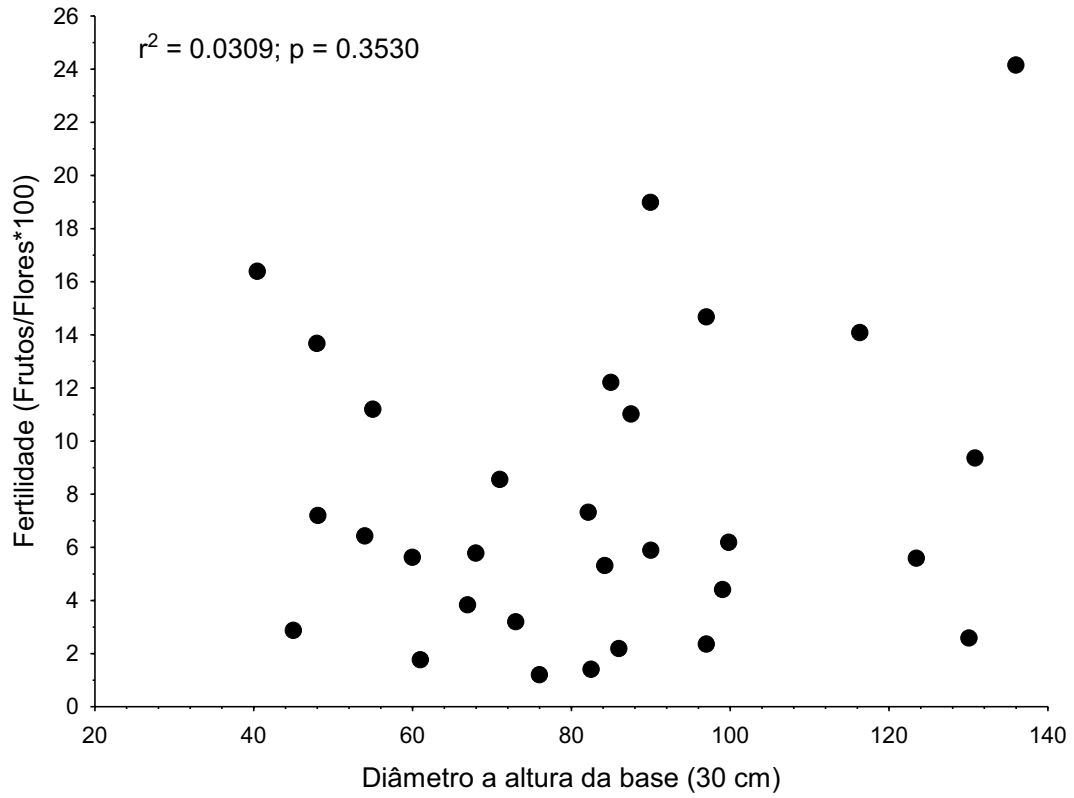


Figura 8: Análise de regressão linear simples entre o diâmetro a altura da base (30 cm) e a fertilidade dos indivíduos de *B. pachyphylla* em uma área de cerrado *sensu stricto* no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.

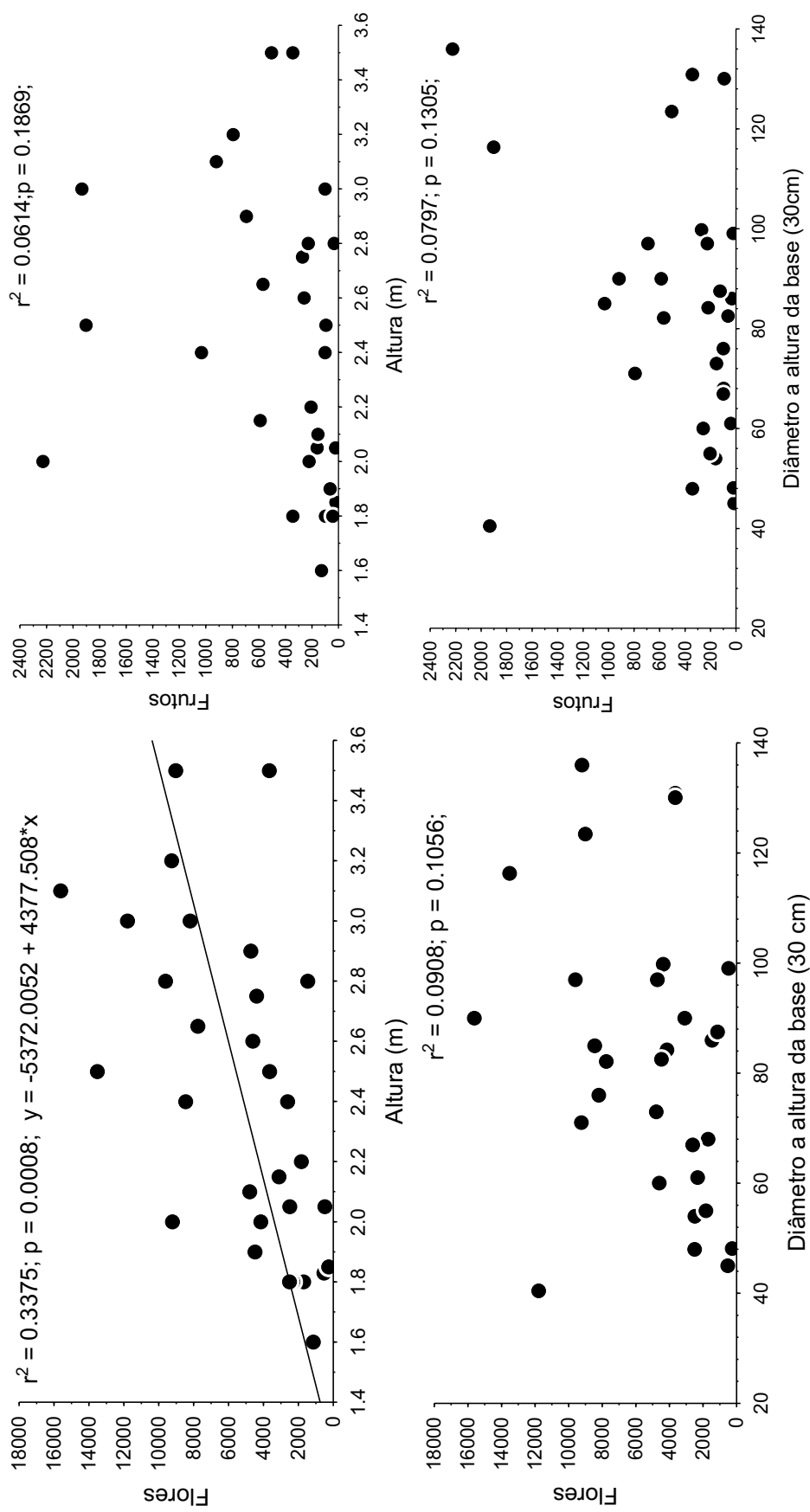


Figura 9: Análises de regressão linear entre a altura das plantas e números de flores e frutos e entre o diâmetro a altura da base (30 cm) e números de flores e frutos dos indivíduos de *B. pachyphylla* em uma área de cerrado *sensu stricto* no Morro Feio, Hidrolândia, Goiás.

## DISCUSSÃO

### Densidade populacional

No Morro Feio, os indivíduos de *B. pachyphylla* tiveram a floração acompanhada entre os meses de julho a outubro de 2009. Entretanto, alguns indivíduos contados para o cálculo da densidade não chegaram a florescer, provavelmente indivíduos muito jovens. Um indivíduo, durante a estação reprodutiva podia apresentar frutos desenvolvidos, botões imaturos e flores prontas para a reprodução em um único momento. A quantidade de flores em diferentes estágios de desenvolvimento variou muito entre indivíduos da mesma população, demonstrando uma assincronia de ocorrência destes estágios. Este cenário reflete uma ampliação do período da floração, tanto da população, como dos indivíduos de *B. pachyphylla*, interferindo na densidade de indivíduos floridos. O número de indivíduos floridos é menor do que em eventos de floração em massa, onde toda população reprodutiva floresce ao mesmo tempo, ocasionando uma grande atratividade de polinizadores.

Entretanto, longos períodos de floração podem ser vantajosos, pois favorecem a manutenção da população de polinizadores que buscam recursos mais raros como o óleo. Além disso, pode reforçar a fidelização do polinizador, uma vez que ele tem o recurso disponível por mais tempo. Polinizadores especialistas estão associados à maior eficiência da polinização, já que no mínimo diminuem os cruzamentos interespecíficos, comumente realizados por polinizadores generalistas (Fenster *et al.*, 2004). Entretanto, a hipótese do trabalho previa um efeito de floração em massa nas parcelas com maior densidade, em que uma maior quantidade de plantas garantiria uma maior quantidade de flores. Em populações vegetais é comum que vários indivíduos jovens se estabeleçam próximo a planta-mãe e, ao chegarem à idade reprodutiva, competirão com sua progenitora por recursos e polinizadores (Auspurger & Hogan, 1983). Nem todos os indivíduos jovens chegarão a fazer parte da população reprodutiva, e neste estudo podem ter diminuído o efeito positivo de uma alta densidade no sucesso reprodutivo de *B. pachyphylla*.

A disponibilidade de polinizadores é um fator crítico para o sucesso reprodutivo das plantas (Ezoe & Washizu, 2009). Como consequência da alta

densidade, haveria uma maior atratividade de polinizadores e estes por sua vez, diante do recurso farto, propiciariam altas taxas de fertilidade. Outro fator que pode aumentar o sucesso reprodutivo em altas densidades é a quantidade de pólen disponível. Pequenas populações estão associadas à maior limitação polínica e a diminuição da polinização cruzada, o que claramente diminui o sucesso reprodutivo (Ward & Johnson, 2005). Entretanto, altas densidades podem ser resultadas da distribuição de plantas aparentadas em pequenas áreas, próximas a uma planta-mãe, o que favorece cruzamentos endogâmicos.

Os indivíduos de *B. pachyphylla* em círculos com maior densidade não apresentaram maiores taxas de fertilidade. O comportamento fenológico da espécie evita o efeito da floração em massa. Rêgo & Albuquerque (2006) encontraram arbustos com inflorescências em diferentes estágios de desenvolvimento em *Byrsonima crassifolia* e indivíduos em diferentes fenofases em *Byrsonima umbellata*. As populações de *Byrsonima gardnerana* também têm variação espaço-temporal do pico de floração entre populações o que atenua a competição intra-específica, e promove a disponibilidade do recurso floral aos visitantes por um período de tempo mais longo (Bezerra *et al.*, 2009). Estas espécies, pela classificação de Newstrom *et al.*, (1994) tem floração anual, irregular e extensiva, funcionando como fonte de recurso para abelhas por um longo período de tempo (Rêgo & Albuquerque, 2006), comportamento semelhante ao de *B. pachyphylla*, o que caracteriza eventos de floração assincrônica.

A fenologia de *B. pachyphylla* nas fitofisionomias cerrado e cerrado sensu stricto tem um padrão de floração anual, com ocorrência na estação seca, entre os meses de junho a outubro, segundo Silvério *et al.* (2009). Neste estudo, a fitofisionomia cerrado sensu stricto apresentou atraso de um mês para o início da floração em relação à fitofisionomia cerrado que apresentou dois picos de floração. Estas diferenças foram atribuídas pelos autores às características locais intrínsecas de cada fitofisionomia, como a maior disponibilidade de água nas áreas de cerrado, o que também é sugerido por Marimon Júnior & Haridasan (2005).

O efeito da densidade populacional na produção de frutos de *B. pachyphylla*, é influenciado pelo comportamento fenológico da espécie. Maiores populações representam um conjunto genético mais completo da espécie, e sustentam a manutenção de mais polinizadores. Entretanto, a estratégia de extensão do período

de floração implica na diluição do efeito da densidade, que diminui a relação direta entre maior número de indivíduos e maior produção de frutos.

### Luminosidade

A luz é um fator limitante da taxa de fotossíntese, mas não é um recurso escasso em formações savânicas, como o cerrado sensu lato. Em oposição ao esperado, *B. pachyphylla* não sofre diminuição do sucesso reprodutivo com a diminuição da exposição à luz solar. No Morro Feio, assim como em outras áreas de cerrado sensu stricto há uma grande quantidade de luz solar disponível. Além disso, uma maior exposição à luz não está correlacionada a plantas de maior altura (Figura 4). Em áreas excessivamente sombreadas, onde possivelmente *B. pachyphylla* sofreria limitações de luz, é provável que ela não se estabeleça.

A luz no cerrado sensu lato parece não ser um fator limitante, podendo até causar estresse vegetal (Silva, 2001). O clima da região do Cerrado é Tropical e apresenta baixa umidade, sendo que a vegetação apresenta adaptações a altas temperaturas, ao estresse hídrico e a eventos de fogo, como raízes profundas, folhas coriáceas e pilosas, caules grossos suberizados e retorcidos são comuns e caracterizam a vegetação.

As características xeromórficas na superfície foliar de 30 espécies arbóreas de cerrado estudadas por Bieras & Sajo (2008), entre elas a *Byrsonima intermedia* A. Juss., sugerem que estas características estão relacionadas com a história evolutiva do bioma, que está adaptado a condições de limitação de água e a presença de solos ácidos e tóxicos. As diferenças funcionais das espécies vegetais de formações fitofisionômicas savânicas e espécies de formações florestais em resposta à limitação de recursos são evidentes (Rossatto *et al.*, 2009). Portanto, é mais provável que *B. pachyphylla* tenha uma interferência negativa na sua fertilidade por limitação de outros recursos como, por exemplo, a água, do que por luz.

A aquisição de luz e a eficiência do seu uso são menores em indivíduos pequenos, assim é um importante determinante no crescimento das plantas (Hikosaka *et al.*, 1999). Em comunidades vegetais a disponibilidade de luz provoca competição entre plantas vizinhas, o resultado deste processo é uma grande variação no tamanho das plantas (Weiner & Thomas, 1986). Nas formações

florestais, esta situação é mais evidente, já que nestes ambientes há limitação da exposição à luz. Entretanto, este processo não ocorreu com *B. pachyphylla* evidenciando a ausência de limitação de luz. *Roupala montana* Aubl. e *Miconia albicans* (Sw.) Steud., duas espécies típicas de várias fitofisionomias do Cerrado, dentre elas o cerrado sensu stricto, não apresentam relação entre abertura de dossel e abundância (Vidotto *et al.*, 2009), evidenciando que estas espécies não sofrem limitações de luz.

### Tamanho da planta

Os indivíduos de maior tamanho podem ser associados a uma maior idade ou a uma maior eficiência na captação de recursos energéticos. Era esperado que os maiores indivíduos tivessem maior fertilidade do que os menores indivíduos. Indivíduos grandes de *B. pachyphylla* têm maior espaço disponível para o estabelecimento de botões florais, além de maior capacidade de captação de recursos e nutrientes para investir na produção de flores, o que pode não ter sido o suficiente para levar a uma maior produção de frutos em comparação a plantas pequenas, já que há outros fatores envolvidos extrínsecos a fisiologia do indivíduo como a disponibilidade e o comportamento de polinizadores.

Crescimento e reprodução são dois processos fundamentais para as plantas (Weiner *et al.*, 2009). A altura da planta é uma importante característica das espécies vegetais uma vez que plantas maiores podem ter vantagens em processos como a dispersão de frutos (Leary *et al.*, 1997). Plantas maiores também apresentam mais flores ocasionando uma maior atratividade aos polinizadores. Entretanto, uma grande oferta de flores em um mesmo indivíduo pode elevar a geitonogamia, onde há a troca de pólen entre flores da mesma planta, diminuindo o sucesso reprodutivo da mesma (Eckert, 2000; Franceschinelli & Bawa, 2000). O que explicaria porque plantas com maior número de flores não tem necessariamente a maior produção de frutos. Porém, sua fertilidade pode ser maior através de um maior sucesso masculino, ou seja, de uma alta taxa de dispersão de grãos de pólen e polinização das plantas da mesma espécie (Barrett, 2002).

Em comunidades vegetais com altas densidades poucos indivíduos são grandes e os indivíduos pequenos apresentam alta mortalidade (White & Harper,

1970). Entretanto *B. pachyphylla* é uma espécie vegetal típica de formações de cerrado sensu stricto, onde talvez as variações de tamanho não estejam associadas à densidade populacional, ou à disponibilidade de luz, e sim, à disponibilidade de água e nutrientes (Franco *et al.*, 2005). Segundo Aarssen (2007) as espécies vegetais podem começar a reprodução com menores tamanhos quando há presença de constantes perturbações no ambiente. A alocação de recursos para a reprodução é resultado da interação de fatores complexos como o genótipo e condições do ambiente onde a planta se desenvolveu (Bonser & Aasser, 2009). Estes processos certamente também ocorrem com *B. pachyphylla* podendo determinar consideráveis variações nos tamanhos dos indivíduos que tem o sucesso reprodutivo determinado por outros fatores, que não o tamanho.

## CONCLUSÃO

O sucesso reprodutivo é determinado entre outros fatores pela eficiência da polinização e pela disponibilidade de recursos. As plantas apresentam várias estratégias para garantir seus sucessos reprodutivos, como efeitos das densidades populacionais na atratividade de visitantes florais, adaptações morfológicas para maior captação de luz, água e nutrientes, além de tamanhos resultados da interação do genótipo com as condições ambientais. Entretanto, verifiquei neste estudo que a fertilidade de *B. pachyphylla* não é influenciada pela densidade populacional, nem pela luminosidade ou pelo tamanho dos indivíduos.

A atratividade de polinizadores com certeza é importante para a manutenção da fertilidade de *B. pachyphylla*, entretanto esta espécie não é beneficiada pelo efeito de grandes concentrações de plantas. Em populações vegetais é freqüente que indivíduos próximos compitam por recursos, embora atraiam mais polinizadores que indivíduos isolados. Neste estudo, os indivíduos não reprodutivos podem ter diminuído o efeito positivo de uma alta densidade no sucesso reprodutivo de *B. pachyphylla*. Além disso, o efeito da densidade populacional na fertilidade de *B. pachyphylla* pode ter sido minimizado pelo comportamento fenológico da espécie. A assincronia na floração entre indivíduos pode ter diluído o efeito da densidade.

A disponibilidade de luz em comunidades vegetais é comumente apontada como causa de competição entre plantas vizinhas. Entretanto, a fertilidade de *B. pachyphylla* não foi condicionada a uma maior exposição à luz. O cerrado *sensu stricto* não oferece restrições ao acesso à luz, sendo a espécie vegetal estudada típica destas formações fitofisionômicas é fácil a compreensão de que o recurso solar não seja restritivo a fertilidade de *B. pachyphylla*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aarssen, L. W. (2007) Death without sex—the ‘problem of the small’ and selection for reproductive economy in flowering plants. *Evolutionary Ecology* 22 (3), 279-298.

Aarssen, L. W., & Taylor, D. R. (1992) Fecundity allocation in herbaceous plants. *Oikos*, 65 (2), 225-232.

Aguiar, C. M., Zanella, F. C., Martins, C. F., & Carvalho, C. A. (2003) Plantas visitadas por *Centris* spp. (Hymenoptera: Apidae) na Caatinga para Obtenção de Recursos Florais. *Neotropical Entomology* 32 (2), 247-259.

Alves-dos-Santos, I., Machado, I. C., & Gaglianone, M. C. (2007). História natural das abelhas coletoras de óleo. *Oecologia Brasiliensis*, 11 (4), 544-557.

Augspurger, C. K. (1983) Phenology, flowering synchrony, and fruit set of six neotropical shrubs. *Biotropica* 15 (4), 257-267.

Auspurger, C. K. e Hogan, K. P. (1983) Wind dispersal of fruits with variable seed number in a tropical tree (*Lonchocarpus pentaphyllus*: Leguminosae) *American Journal of Botany* 70, 1031-1037

Barrett, S. C. H. (2002) Sexual interference of the floral kind. *Heredity* 88, 154–159.

Barros, M. A. (1992) Fenologia da floração, estratégias reprodutivas e polinização de espécies simpátricas do gênero *Byrsonima* Rich (Malpighiaceae). *Revista Brasileira de Biologia* 52 (2), 343-353.

Barthélémy, D., & Caraglio, Y. (2007). Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany* 99, 375-407.

Bezerra, E. S., Lopes, A. V., & Machado, I. C. (2009) Biologia reprodutiva de

*Byrsonima gardnerana* A. Juss. (Malpighiaceae) e interações com abelhas *Centris* (Centridini) no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 32 (1), 95-108.

Bieras, A. C., & Sajo, M. D. (2008) Leaf structure of the cerrado (Brazilian savanna) woody plants. *Trees* 23 (3), 451-471.

Bonser, S., & Aarssen, L. (2009) Interpreting reproductive allometry: Individual strategies of allocation explain size-dependent reproduction in plant populations. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 11 (1), 31-40.

Buchmann, S. L. (1987) The ecology of oil flowers and their bees. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 18 (1), 343-369.

Cavalcanti, T. B., & Ramos, A. E. (2001). *Flora do Distrito Federal, Brasil*. Brasília, Distrito Federal. Vol. 1, 359p.

Coutinho, L.M. (2002) O bioma cerrado. *In: Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois* (A.L. Klein, ed.). Edunesp, São Paulo, p.77-91.

Cunningham, S. A. (2000) Depressed pollination in habitat fragments causes low fruit set. *Proceedings: Biological Sciences* 267, 1149-1152.

Durigan, G., Nishikawa, D.L.L., Rocha, E., Silveira, E.R., Pulitano, F.M., Regalado, L.B., Carvalhaes, M.A., Paranaguá, P.A. & Ranieri, V.E.L. (2002) Caracterização de dois estratos da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 16, 251-262.

Eckert, C. G. (2000) Contributions of autogamy and geitonogamy to self-fertilization in a mass-flowering, Clonal Plant. *Ecology* 81 (2), 532-542.

Ezoe, H., & Washizu, N. (2009) Effect of stochasticity in the availability of pollinators on the resource allocation within a flower. *Journal of theoretical biology* 258 (4), 630-636.

Fankhauser, C., & Chory, J. (1997) Light control of plant development. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 13, 203-229.

Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R., & Thomson, J. (2004) Pollination syndromes and floral specialization. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35, 375-403.

Franco, A. C., Bustamante, M., Caldas, L. S., Goldstein, G., Meinzer, F. C., & Kozovits, A. R. (2005) Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees* 19 (3), 326-335.

Franceschinelli, E. V. & Bawa, K.S. (2000) The effect of ecological factors on the mating system of a South American shrub species (*Helicteres brevispira*). *Heredity* 84, 116-123.

Hikosaka, K., Sudoh, S., & Hirose, T. (1999) Light acquisition and use by individuals competing in a dense stand of an annual herb, *Xanthium canadense*. *Oecologia*, 118, 388-396.

Hoffmann, W. A. (1999) Fire and population dynamics of woody plants in a Neotropical savanna: matrix model projections. *Ecology* 80(4),1354–1369.

Hutchinson, G. E. (1957) Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology* 22, 415-427.

Karron, J. D., Holmquist, K. G., Flanagan, R. J., & Mitchell, R. J. (2009) Pollinator visitation patterns strongly influence among-flower variation in selfing rate. *Annals of botany* 103 (9), 1379-83.

Kimball, S., & Mattis, P. (2007) GIMP. Boston, USA.

Knight, T. M., Steets, J. A., Vamosi, J. C., Mazer, S. J., Burd, M., Campbell, D. R.,

Dudash, M. R., Johnston, M. O., Mitchell, R.J. & Ashman, T. (2005) Pollen limitation of plant reproduction: Pattern and process. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36, 467–97.

Koelewijn, H. P. (2004) Sibling competition, size variation and frequency-dependent outcrossing advantage in *Plantago coronopus*. *Evolutionary Ecology* 18 (1), 51-74.

Krebs, C. J. (1999). *Ecological Methodology*. A. Longman Green, Jim. 581 p.

Leary, R. A., Nimerfro, K., Holdaway, M., Brand, G., Burk, T., & Kolka, R. (1997) Height growth modeling using second order differential equations and the importance of initial height growth. *Forest Ecology and Management* 97, 165-172.

Lorenzi, H., & Matos, F. J. (2002). *Plantas Medicinais no Brasil: nativas e exóticas*. Ed. Plantarum. Nova Odessa, São Paulo. 512 p.

Lu, Yingqing. 2000. Effects of density on mixed mating systems and reproduction in natural populations of *Impatiens capensis*. *International Journal of Plant Sciences*, 161 (4), 671-681.

Majerowicz, N. (2004). Fotossíntese. In G. B. Kerbauy, *Fisiologia Vegetal* (pp. 114-118). Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Marimon Júnior, B. H., & Haridasan, M. (2005) Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado. *Acta bot. bras.* 19 (4), 913-926.

Mitchell, R. J., Flanagan, R. J., Brown, B. J., Waser, N. M., & Karron, J. D. (2009). New frontiers in competition for pollination. *Annals of botany*, 103 (9), 1403-13.

Newstrom, L. E., Frankie, G. W., & Baker, H. G. (1994) A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland Tropical Rain Forest Trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26 (2), 141-159.

Oliveira, P. E., & Paula, F. R. (2001). Fenologia e biologia reprodutiva de plantas de Mata de Galeria. In: J. F. Ribeiro, C. E. Fonseca, & J. C. Sousa-Silva, *Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria* (pp. 301-332). EMBRAPA. Planaltina, Distrito Federal.

Poorter, L. (1999) Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. *Functional Ecology* 13, 396-410.

Portal da Prefeitura de Hidrolândia. Disponível em:< [www.hidrolandia.ce.gov.br](http://www.hidrolandia.ce.gov.br) >. Acesso em: 24 de novembro de 2010.

Rathcke, B., & Lacey, E. P. (1985). Phenological patterns of terrestrial plants. *Ann. Rev. Eco. and Sys.* 16, 179-214.

Rêgo, M., & Albuquerque, P. (2006). *Polinização do Murici*. São Luís, Maranhão: MMA/EDUFMA. 103 p.

Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. (1998) Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: S. M. Sano & S. P. Almeida, *Cerrado: Ambiente e Flora* (pp. 89-152). EMBRAPA. Planaltina, Distrito Federal.

Rossatto, D. R., Hoffmann, W. A., & Franco, A. C. (2009) Differences in growth patterns between co-occurring forest and savanna trees affect the forest-savanna boundary. *Functional Ecology* 23 (4), 689-698.

Silva, D. A. (2001) *Comparação de características foliares de espécies lenhosas entre cerrado denso, cerrado sensu stricto e campo sujo na reserva ecológica do IBGE, Brasília (DF)*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.

Silveira, F. A., Melo, G. A., & Almeida, E. A. (2002). Abelhas Brasileiras: sistemática e identificação. 253 p. F. Araucária. Belo Horizonte, Minas Gerais.

Silvério, D. V., Lenza, E. & Bulhão, C. F. (2009) Comportamento fenológico de *Byrsonima pachyphylla* Griseb. (Malpighiaceae) em duas fitofisionomias de cerrado no Parque do Bacaba, Nova Xavantina - MT. *Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil*, 1-4.

Silvertown, J. (2004) Plant coexistence and the niche. *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 605-611.

Souza, V. C., & Lorenzi, H. (2005) *Botanica Sistemática*. Ed. Plantarum. Nova Odessa, São Paulo. 639 p.

Thomas, M. D. (1955) Effect of ecological factors on photosynthesis. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 6, 135-156.

Thompson, W.A., Huang, L.K. & Kriedemann, P.E. (1992) Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade tolerant rainforest trees. II. Leaf gas exchange and component processes of photosynthesis. *Australian Journal of Plant Physiology* 19,19-42.

Vaz, A. P., Santos, H. P., & Zaidan, L. B. (2004). Floração. In G. B. Kerbauy, *Fisiologia Vegetal* (pp. 366-385). Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Vidotto, C., Araújo, C., Polido, C. D., & Cotarelli, V. M. (2009). A influência da abertura do dossel e espessura da serapilheira sobre as populações de. *Ecologia de Campo II*.

Ward, M. & Johnson, S. D. (2005) Pollen limitation and demographic structure in small fragmented populations of *Brunsvigia radulosa* (Amaryllidaceae). *Oikos* 108, 253-262.

Weiner, J., & Thomas, S. C. (1986). Size variability and competition in plant monocultures. *Oikos*, 47, 211-222.

Weiner, J., Campbell, L. G., Pino, J., & Echarte, L. (2009) The allometry of reproduction within plant populations. *Journal of Ecology* 97 (6), 1220-1233.

White, J., & Harper, J. L. (1970). Correlated changes in plant size and number in plant populations. *Journal of Ecology* 58 (2), 467- 485.

## CAPÍTULO 2: O EFEITO DO TAMANHO E DA DISTÂNCIA ENTRE FRAGMENTOS NA FERTILIDADE DE *Byrsonima pachyphylla* A. Juss.

### RESUMO

A fragmentação de habitats é uma das formas de degradação ambiental e uma das ameaças a biodiversidade terrestre. O objetivo do meu trabalho é avaliar o efeito do tamanho e da distância entre fragmentos de cerrado *sensu stricto* na densidade e na fertilidade de populações de *Byrsonima pachyphylla*. Estudei nove fragmentos de cerrado *sensu stricto* localizados no município de Hidrolândia, Goiás. Estimei a densidade média de *B. pachyphylla* em cada fragmento pela contagem das plantas em círculos de 20 m de raio ao redor de sete plantas. Estimei a fertilidade pela razão do número de flores e frutos produzidos pelas sete plantas em cada fragmento. Fiz análises de regressão linear entre a densidade média de *B. pachyphylla* de cada fragmento e o tamanho dos fragmentos, e entre a fertilidade média e o tamanho dos fragmentos. Fiz uma autocorrelação entre a fertilidade e a distância de todas as plantas entre si. Utilizei o índice *I* de Moran com sete classes de distância. Fragmentos maiores têm as maiores densidades populacionais ( $r^2=0,6403$ ;  $p=0,0096$ ) e plantas mais férteis ( $r^2=0,6569$ ;  $p=0,0081$ ), além de serem mais conservados. Existe autocorrelação apenas entre plantas próximas, pertencentes ao mesmo fragmento (*I* de Moran=0,1330;  $p=0,0040$ ). Entre fragmentos a heterogeneidade do ambiente é maior, o que resulta em diferenças nas fertilidades de *B. pachyphylla* mesmo entre fragmentos próximos. O tamanho do fragmento foi à variável que mais influenciou a taxa de fertilidade de *B. pachyphylla*. Estes resultados evidenciam a importância de unidades de conservação com áreas mais representativas a fim da manutenção das espécies do cerrado.

**Palavras-chave:** tamanho de fragmentos, distância entre fragmentos, fertilidade, *Byrsonima pachyphylla*.

## ABSTRACT

Habitat fragmentation is one of the main causes of environmental degradation and a great threat to world biodiversity. Fragmentation can disrupt pollination processes, affecting directly or indirectly pollinators and plants. The goal of my work was to evaluate the effect of fragment size and distance among them on density and fertility of *Byrsonima pachyphylla* populations in Cerrado *sensu stricto*. I studied nine fragments located in Hidrolândia, Goiás, Brazil. I estimated the average density of *B. pachyphylla* in each fragment by counting plants inside circles of 20 m radius around seven plants. I estimated the fertility by the ratio of the number of flowers and fruits produced by the seven plants in each fragment. I made linear regression analysis between the average density of *B. pachyphylla* of each fragment and fragment size, and between average fertility and size of the fragments. I did an autocorrelation analysis between fertility and distance between plants. I used the Moran's Index with seven distance classes. Larger fragments have the highest population densities ( $r^2 = 0.6403$ ,  $p = 0.0096$ ) and the most fertile plants ( $r^2 = 0.6569$ ,  $p = 0.0081$ ), and are more preserved. Significant autocorrelation was found only between plants of the same fragment (Moran's  $I = 0.1330$ ,  $p = 0.0040$ ). The environmental heterogeneity between fragments is greater, resulting in differences in the fertility of *B. pachyphylla* even between nearby fragments. The fragment size strongly influences the fertility of *B. pachyphylla*. These results highlight the importance of protected areas more representative to the maintenance of species of the cerrado.

**Key-words:** fragment size, distance between fragments, fertility, *Byrsonima pachyphylla*.

## INTRODUÇÃO

A fragmentação de habitats é uma das formas mais claras de degradação ambiental e uma das principais ameaças para a biodiversidade terrestre (Rathcke & Jules, 1993), pois resulta em extinção de populações e espécies. O processo de fragmentação de habitat é a transformação de uma grande extensão de habitat em várias manchas de pequeno tamanho, isoladas umas das outras por uma matriz diferente da original. A definição de fragmentação de habitat implica em quatro efeitos do processo de fragmentação em um habitat: redução de habitat, aumento do número de manchas, diminuição do tamanho e aumento do isolamento das manchas. Estes quatro efeitos são à base da mensuração quantitativa da fragmentação de habitats (Fahrig, 2003).

É importante notar que a perda de habitat não é fragmentação, pois pode haver perda de habitat sem fragmentação (Haila, 2002). A perda de habitat como processo conjunto a fragmentação pode provocar efeitos negativos diretos e indiretos na biodiversidade. Esses efeitos são mensurados através da riqueza de espécies, abundância das populações, distribuição das populações, diversidade genética das populações, razão de crescimento das populações, alterações nas interações entre espécies, redução das espécies especialistas e de grande tamanho corporal, diminuição do sucesso reprodutivo, dispersão, razão de predação, sucesso de forrageamento, taxa de extinção local e *turnover* (Fahrig, 2003).

A perda de habitat também pode levar a exclusão de espécies especialistas ou que necessitam de extensas áreas de forrageamento ou que se distribuem em manchas (Rathcke & Jules, 1993). Espécies K-estrategistas de uma maneira geral chegam ao limiar de extinção devido a perda de habitat. A redução de áreas não leva imediatamente à extinção de espécies, pois estas ainda podem se manter em fragmentos menores, mas a exclusão acaba acontecendo quando a diminuição da área atinge um ponto crítico e as espécies não mais conseguem se manter (Fahrig, 2003).

A formação de ilhas de habitat, ou fragmentos, insere fatores complicadores na manutenção das populações como formação de subpopulações com diferentes graus de isolamento, e a formação de grandes extensões de bordas, que são áreas de contato do habitat original como a paisagem modificada. O aumento no total de

bordas de habitat é devido à transição abrupta entre a vegetação original e o habitat ao redor. As bordas geram um conjunto de alterações bióticas e abióticas conhecidas como "efeito de borda". Sendo assim, a persistência de uma determinada espécie em um dado fragmento também vai depender da sua tolerância aos efeitos de borda (Ries *et al.*, 2004). Quanto maior o número de fragmentos, mais avançado é o estágio do processo de fragmentação, e o desenvolvimento do processo ainda inclui a diminuição da área dos fragmentos, o que agrava as conseqüências da perda de habitat.

Além disso, os pequenos tamanhos populacionais das espécies remanescentes as tornam vulneráveis à extinção através de processos ambientais que ocorrem ao acaso, tais como catástrofes, e também devido aos efeitos genéticos resultantes do cruzamento de indivíduos muito próximos geneticamente (Ewers & Didham, 2006). Tais efeitos podem ser atenuados se as populações não estiverem completamente isoladas uma das outras. Espécies podem sobreviver em pequenas áreas por meio da combinação de recursos de várias áreas, o que é possibilitado pela capacidade de dispersão destas espécies entre áreas (Tscharntke *et al.*, 2002).

Quando há migração entre pequenas populações, então a coleção de subpopulações nos fragmentos forma uma metapopulação. A formação de metapopulações seria a formação de conjuntos de populações locais ligadas por indivíduos que se dispersam, o que pode evitar a perda de uma espécie em uma dada área ao impedir a extinção em determinados fragmentos ou permitir a recolonização dos mesmos (Haila, 2002). Em outras, a metapopulação se caracteriza por uma ou mais populações principais, estáveis em número, e várias populações satélites que flutuam com a chegada dos imigrantes. Uma conclusão chave do modelo de metapopulação é que a probabilidade de extinção não depende somente da quantidade ou da qualidade da área, mas também é resultado da locação espacial do fragmento dentro da estrutura de metapopulação (Ewers & Didham, 2006). Com o avanço do processo de fragmentação, e aumento da diminuição da área e quantidade de fragmentos, aumentam as distâncias e barreiras a serem vencidas pelas metapopulações, tornando cada vez mais difícil a migração entre fragmentos.

Para haver conectividade entre os fragmentos da paisagem é necessária a presença de corredores ou algum tipo de ligação que seja estruturalmente similar ao hábitat primário, para permitir a movimentação e dispersão entre manchas (Harrison, 1992). O aparecimento de barreiras na paisagem modificada pode alterar, de modo significativo, a dinâmica populacional das espécies sobreviventes. A presença de novos habitats matriz (por ex. pastagens, plantações) pode limitar a dispersão, movimentos e colonização (Tschardtke & Brandl, 2004). Quanto maior a diferenciação da matriz em relação ao fragmento, menor a permeabilidade da matriz, sendo assim o isolamento do fragmento vai ser determinado pela combinação da permeabilidade da matriz e da capacidade de dispersão das espécies (Ewer & Didham, 2006).

Também podem ocorrer modificações na fauna e flora levando ao rompimento de antigas e estabelecimento de novas interações entre as espécies (Lovejoy, 1980). Geralmente, comunidades mais complexas e com presença de um maior número de espécies especialistas são mais suscetíveis à redução de habitat e ao crescente isolamento (Tschardtke & Brandl 2004). Considerando interações ecológicas sensíveis como o processo de polinização, a interferência na distância que o polinizador percorre para encontrar populações da planta e a qualidade de seus habitats afeta a polinização e conseqüentemente o sucesso reprodutivo das espécies vegetais (Steffan-Dewenter & Tschardtke, 1999). Então, a fragmentação pode romper o processo de polinização acarretando efeitos diretos para plantas e polinizadores (Murcia, 1996).

A polinização é o primeiro passo na reprodução da maioria das espécies de plantas. Qualquer alteração neste nível, como a fragmentação de hábitat, pode ter um forte efeito nos níveis seguintes, uma vez que a quantidade de pólen que chega aos estigmas pode determinar a taxa de fertilização dos óvulos, com conseqüente efeito na taxa de aborto de flores, e produção de frutos e sementes (Lamont *et al.*, 1993, Murcia, 1996, Cunningham, 2000, Krauss, 2007). Ou seja, o sucesso reprodutivo das espécies vegetais é determinado, entre outros fatores, pela limitação de pólen. A quantidade de pólen que chega aos estigmas das flores, em espécies polinizadas por animais é dependente da quantidade de polinizadores e da eficiência destes em transportar o pólen e polinizar outras flores. A limitação do pólen também pode ser ocasionada pela baixa qualidade do pólen, este processo ocorre em

resposta a cruzamentos endogâmicos que reduzem a qualidade da prole (Aizen & Harder, 2007). Outro aspecto a ser levado em conta é quanto à planta depende do polinizador e a capacidade de transferir pólen deste (Ghazoul & Shaanker, 2004).

O tamanho populacional reduzido das espécies vegetais encontradas em ambientes fragmentados leva a diminuição de eventos de polinização cruzada, a perda de variabilidade genética, conseqüente decréscimo na produção de sementes e frutos, e eventualmente o aumento do risco de extinção da população (Jules & Rathcke, 1999; Jacquemyn *et al.*, 2002). Na maioria das plantas tropicais a polinização envolve interações com animais, fazendo este processo duplamente susceptível ao efeito da fragmentação. Aizen & Feinsinger (1994) mostraram que a fragmentação pode levar a mudança na composição e no número de visitantes florais. Alterações na composição, freqüência e comportamento de polinizadores modificam a eficiência da polinização diminuindo a quantidade e/ou a qualidade do pólen recebido pelos estigmas das flores, levando a uma menor produção de frutos e sementes (Jules & Rathcke, 1999; Carmo, 2005). A redução da produção de frutos e sementes é uma resposta que demonstra a suscetibilidade da reprodução sexual das espécies vegetais ao processo de fragmentação (Cunningham, 2000).

Mudanças locais na fauna dos polinizadores podem ser danosas já que visitantes florais diferem em suas distâncias de vôos, na quantidade de pólen que adere ao seu corpo e na eficiência do transporte de pólen das anteras de uma flor para o estigma da outra (Feinsinger, 1983; Murcia, 1990; Schmitt, 1980, Waser, 1982). A entrada de espécies exóticas generalistas diminui a força da interação mutualista e as espécies ecologicamente especializadas tornam-se raras pela substituição por espécies invasoras (Aizen *et al.*, 2008). Sendo assim, a substituição de uma espécie de polinizador de vôo longo por outra de vôo curto, por exemplo, pode resultar em mudanças no grau de parentesco entre doadores e receptores de pólen e na redução do sucesso reprodutivo das plantas devido à endogamia (Waser & Price, 1989). Além disso, a substituição de polinizadores eficientes por outros menos eficientes pode levar à redução do sucesso reprodutivo das plantas devido à deficiência na polinização (Waser & Price, 1989).

A fragmentação leva a um declínio na disponibilidade de recursos florais para a manutenção das populações de polinizadores e conseqüentemente a extinção ou o deslocamento dos polinizadores para outras áreas (Murcia, 1996). As abelhas

polinizam grande parte das angiospermas, elas e outros polinizadores são um componente importante da biodiversidade (Buchmann, 1987), uma vez que, o destino de muitas plantas nativas depende da preservação de suas relações mutualísticas com os polinizadores, bem como da conservação de áreas naturais, habitat destes polinizadores. O efeito da fragmentação sobre a polinização e sobre o sucesso reprodutivo de plantas tem sido demonstrado em muitos estudos (Aizen & Feinsinger 1994a, 1994b; Aguilar & Galetto, 2004; Cunningham, 2000; Donaldson *et al.*, 2002; Dunley *et al.*, 2009; Garcia & Chacoff, 2007; Para-Tabla *et al.*, 2000; Quesada *et al.*, 2003). O efeito da fragmentação no sistema polinizador-planta na região neotropical é ainda pouco conhecido, sendo que Aizen e Feinsinger (1994a, 1994b) forneceram os primeiros dados no nível de comunidade sobre o assunto. Nenhum estudo sobre o efeito da fragmentação na interação planta-polinizador e na fertilidade de plantas foi realizado até o momento no bioma Cerrado, apesar da grande devastação que este bioma vem sofrendo nas últimas décadas.

Aproximadamente a metade da área original do Cerrado foi transformada em pastagens, culturas anuais e outros tipos de uso. Segundo Goiás (2002), a perda de cerca de 80% na área do Cerrado ocorreu, em grande parte, nas últimas décadas com a aceleração da ocupação humana na região e o avanço da frente de expansão agrícola proveniente do Sul e do Sudeste do Brasil, movimento que se iniciou há 50 anos e se acelerou com a construção de Brasília nos anos 60. As áreas de Cerrado desenvolveram-se sobre solos muito antigos, intemperizados, ácidos, pobres de nutrientes, mas que possuem concentrações elevadas de alumínio. O aproveitamento deste solo para agricultura exige a aplicação de fertilizantes e calcário (Klink & Machado, 2005). As pastagens com gramíneas de origem africana em 2005 cobriam uma área de 500.000 km<sup>2</sup>, monoculturas uma área de 100.000 km<sup>2</sup>, e área total destinada para conservação era cerca de 33.000 km<sup>2</sup> (Klink & Machado, 2005). E segundo Myers *et al.* (2000), 6% da área remanescente do Bioma Cerrado estaria protegida em unidades de conservação e apenas 1,2% em áreas de proteção integral.

Além disso, distribuição de tamanho das unidades de conservação é extremamente assimétrica, e 70% dessas unidades possuem menos que 1.000 ha (Goiás, 2002). O que corrobora o trabalho de Turner & Corlett (1996) que concluíram que em países tropicais possuem muitos fragmentos de floresta isolados e

dispersos, a grande maioria dos quais são pequenos, menores que 100 ha, e altamente perturbados, localizados em áreas de relevo acidentado ou solos pobres. Segundo Cunha *et al.* (2007) que analisou 21% da área de Goiás, existe uma alta riqueza relativa de fragmentos no Estado, mas com distribuição desigual, que forma grupos de muitos fragmentos pequenos isolados por extensas áreas de pastagem e/ou monoculturas. Os autores encontraram que cerca de 89% dos fragmentos eram menores ou iguais a 1ha, restando poucos fragmentos com área equivalente aos tamanhos das Unidades de Conservação conhecidas em Goiás.

A fragmentação permite previsões, como em fragmentos menores há maior estresse ambiental o que afeta parâmetros populacionais, como abundância e densidade das espécies, e parâmetros biológicos, como tamanho e fertilidade dos indivíduos, assim como fragmentos isolados e inseridos em uma matriz diferente da original também são afetados por estes efeitos, e o tamanho dos fragmentos possivelmente determina a intensidade com que esses efeitos são sentidos pelas plantas. Uma espécie vegetal típica do Bioma Cerrado, encontrada comumente em Goiás, e com sistema de polinização dependente da interação com animais é *Byrsonima pachyphylla* A. Juss. Esta espécie é polinizada por abelhas coletoras de óleo que deve sofrer interferências negativas no seu sucesso reprodutivo provocadas pelo processo de fragmentação que vêm ocorrendo neste bioma, como as previstas pela teoria.

## OBJETIVOS

Objetivo deste trabalho é o de avaliar o efeito do tamanho e da distância de fragmentos de cerrado *sensu stricto* na densidade e na fertilidade de populações de *Byrsonima pachyphylla* encontradas nos fragmentos do estudo. Portanto, testarei as seguintes hipóteses:

1. Fragmentos maiores apresentam maior densidade populacional de *B. pachyphylla*;
2. Fragmentos maiores apresentam indivíduos mais férteis de *B. pachyphylla*;
3. Fragmentos próximos são mais similares, quanto à fertilidade de *B. pachyphylla*, que fragmentos distantes;

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

Estudei nove fragmentos inseridos no bioma Cerrado que possui uma área de 2.036.448 de Km<sup>2</sup> (IBGE, 2004) e ocupa principalmente a porção central do Brasil. Os fragmentos são áreas de cerrado *sensu stricto* formados por reservas de propriedades particulares que tem como atividade principal a pecuária. O Cerrado caracteriza-se como uma formação do tipo savana tropical, com destacada sazonalidade e presença, em diferentes proporções, de formações herbáceas, arbustivas e arbóreas (Eiten, 1993; Ribeiro & Walter 1998). De acordo com a classificação de Köppen, o clima dominante na região é do tipo Aw - tropical chuvoso, com verão úmido e inverno seco, apresentando temperatura média de 22°C e precipitação média anual em torno de 1.200 – 1.600 mm (Ribeiro & Walter 1998). Entre os principais biomas brasileiros, o Cerrado é atualmente o maior alvo da simplificação de habitats (Klink & Machado, 2005; Alho & Martins, 1995; Verdesio, 1994).

Realizei minhas coletas de dados no município de Hidrolândia (Figura 1), que possui um território de 944.238 km<sup>2</sup>, com altitude média de 814 m (Dambrós *et al.*, 1994). Os tipos de solo predominantes são os latossolos vermelhos e os neossolos. A cobertura vegetal do município é composta por formações florestais (Floresta Estacional ou Mata Seca) e savânicas (cerradão, cerrado tipo denso, cerrado tipo ralo, cerrado *sensu stricto*).

### Local e período de coletas

Coletei os dados entre julho e outubro de 2009, que é o período de floração e frutificação de *B. pachyphylla*. O tamanho dos fragmentos é apresentado na tabela 1 e a localização na figura 1.

Tabela 1: Tamanho e localização geográfica dos fragmentos estudados em Hidrolândia, Goiás.

Fragmento	Tamanho(ha)	Latitude	Longitude
Fragmento 1	19.5	16°58'59" S	49°14'18" O
Fragmento 2	27.09	17°03'23" S	49°13'28" O
Fragmento 3	53.02	16°58'50" S	49°11'24" O
Fragmento 4	59.07	16°59'49" S	49°14'09" O
Fragmento 5	68.06	17°00'50" S	49°11'51" O
Fragmento 6	297.54	17°00'46" S	49°08'38" O
Fragmento 7	427.35	17°04'40" S	49°10'56" O
Fragmento 8	517.61	16°54'27" S	49°13'51" O
Fragmento 9	1124.78	16°51'54"S	49°21'53" O

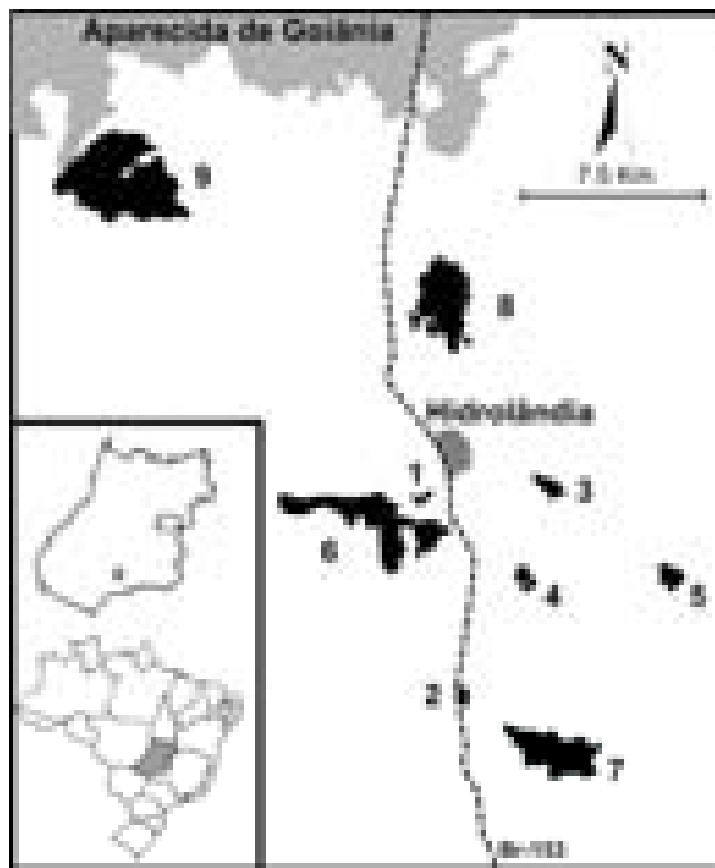


Figura 1: Localização geográfica dos fragmentos estudados. No canto inferior esquerdo mapa do Brasil com o estado de Goiás destacado; acima mapa de Goiás com a área de estudo destacada. No mapa maior as áreas cinza correspondem à área urbana dos municípios de Hidrolândia e Aparecida de Goiânia.

## Densidade populacional e tamanho dos indivíduos

Estimei a densidade de *B. pachyphylla* nos nove fragmentos utilizando círculos de 20m de raio ao redor de cada um dos sete indivíduos de *B. pachyphylla* sorteados em cada fragmento. Verifiquei se a densidade destas plantas variou com a área dos fragmentos estudados por meio de análise de regressão linear. Também coletei o diâmetro a altura da base (30 cm acima do solo) e a altura dos indivíduos de *B. pachyphylla* a fim de verificar se o tamanho dos indivíduos varia em função da área dos fragmentos, usando uma análise de regressão linear. Os valores dos tamanhos dos fragmentos foram corrigidos por transformação logarítmica, a fim de reduzir a distribuição assimétrica dos dados, conforme o procedimento sugerido por Krebs (1999).

## Fertilidade

Avaliei a fertilidade por meio da estimativa do número de frutos produzidos por planta em relação ao número de flores. Para isso, recolhi todos os racemos florais de sete plantas selecionadas nos nove fragmentos e contei as cicatrizes florais e o número de frutos produzidos por estas plantas. Então, dividindo o número de frutos pelo número de flores produzidas e multiplicando por cem obtive a taxa de produção de frutos para cada cem flores produzidas por planta em cada fragmento. Os resultados desta taxa foram considerados como a medida de fertilidade de cada planta e a média destes valores como a medida de fertilidade de cada fragmento. Com as medidas de fertilidade realizei análise de regressão linear com o intuito de verificar se os fragmentos maiores apresentam melhores taxas de fertilidade.

## Efeito da distância entre os fragmentos

Para avaliar o efeito da distância na fertilidade de *B. pachyphylla* entre os fragmentos realizei uma análise de autocorrelação espacial. Utilizei o índice *I* de Moran estimado com sete classes de distância geográfica entre as planta amostradas nos fragmentos, mantendo constante o número de pares de observações para cada classe. Em outras palavras, fiz uma correlação entre a

fertilidade das plantas amostradas nos fragmentos e diferentes classes de distância entre as plantas amostradas, a fim de verificar se fragmentos próximos são mais similares (autocorrelação positiva) ou menos similares (autocorrelação negativa) que o esperado ao acaso e se as plantas de um mesmo fragmento possuem fertilidades semelhantes (Legendre e Legendre, 1998). O valor do índice  $I$  de Moran varia de -1,0 a 1,0 na maior parte dos casos, sendo estes valores seus máximos para autocorrelações negativas e positivas, respectivamente. Assim, sua interpretação é análoga à de um coeficiente de correlação, como o  $r$  de Pearson. O  $I$  de Moran é calculado pela seguinte fórmula:

$$I = \frac{1}{S} \left[ \frac{\sum_i \sum_j (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y}) w_{ij}}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \right]$$

Em que  $n$  é o número de plantas amostradas,  $y_i$  e  $y_j$  são os valores da fertilidade das plantas  $i$  e  $j$ ,  $\bar{y}$  é a média de  $y$  e  $w_{ij}$  é um elemento da matriz  $W$ . Nessa matriz,  $w_{ij}$  é igual a 1 se o par  $i, j$  das células estiver dentro de dado intervalo de classes de distâncias (indicando células que estão conectadas nessa classe) e  $w_{ij}$  é igual a 0 se não estão conectadas no intervalo.  $S$  é o número de conexões da matriz  $W$ .

O valor de  $I$  de Moran esperado sob a hipótese nula de ausência de autocorrelação é dado por:

$$E(I) = \frac{-1}{(n-1)}$$

Os índices que se encontram acima desse valor representam autocorrelação positiva e abaixo autocorrelação negativa. Para avaliar a significância dos índices observados e do autocorrelograma como um todo usei o critério de Bonferroni ( $\alpha/k$ , sendo  $\alpha$  o nível de significância igual a 0,05 e  $k$  o número de classes de distância, que foram sete). Fiz a análise de autocorrelação espacial no programa SAM 3.0 (Rangel *et al.*, 2006) usando 10000 aleatorizações.

## RESULTADOS

A densidade populacional média foi maior nos grandes fragmentos (Figura 2). A análise de regressão simples entre a densidade média de *B. pachyphylla* de cada fragmento e o tamanho dos fragmentos apresentou resultado significativo. Esses dados corroboram a hipótese de que nos grandes fragmentos a densidade média é maior. Já as análises de regressão linear simples do diâmetro a altura da base e da altura dos indivíduos de *B. pachyphylla* contra os tamanhos dos fragmentos e não foram significativas. Portanto não é possível apontar nenhum padrão dos tamanhos das plantas em relação aos tamanhos dos fragmentos (Figuras 3 e 4).

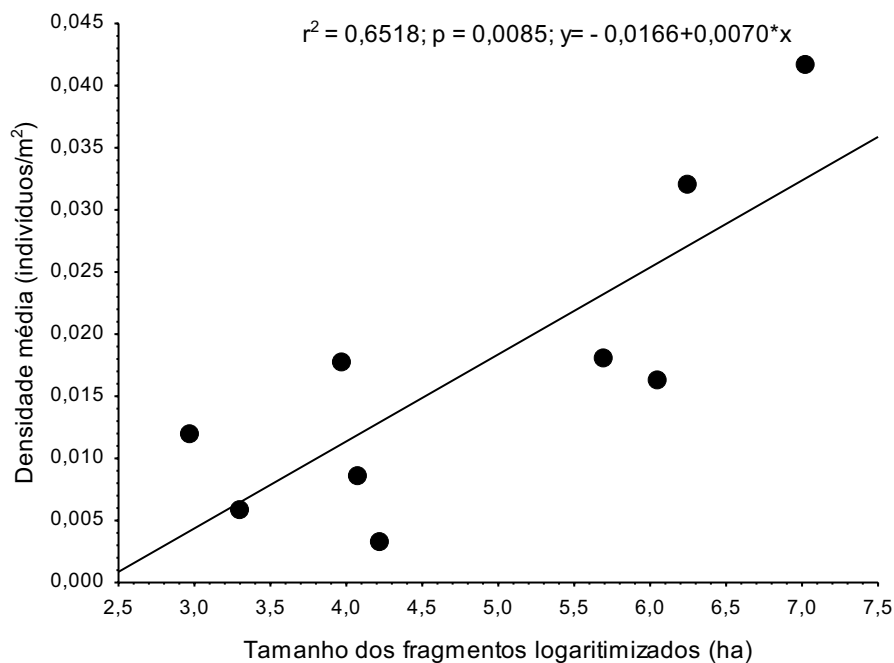


Figura 2: Análise de regressão linear simples entre a densidade populacional média de *B. pachyphylla* e o tamanho dos fragmentos de cerrado *sensu stricto* no município de Hidrolândia, Goiás.

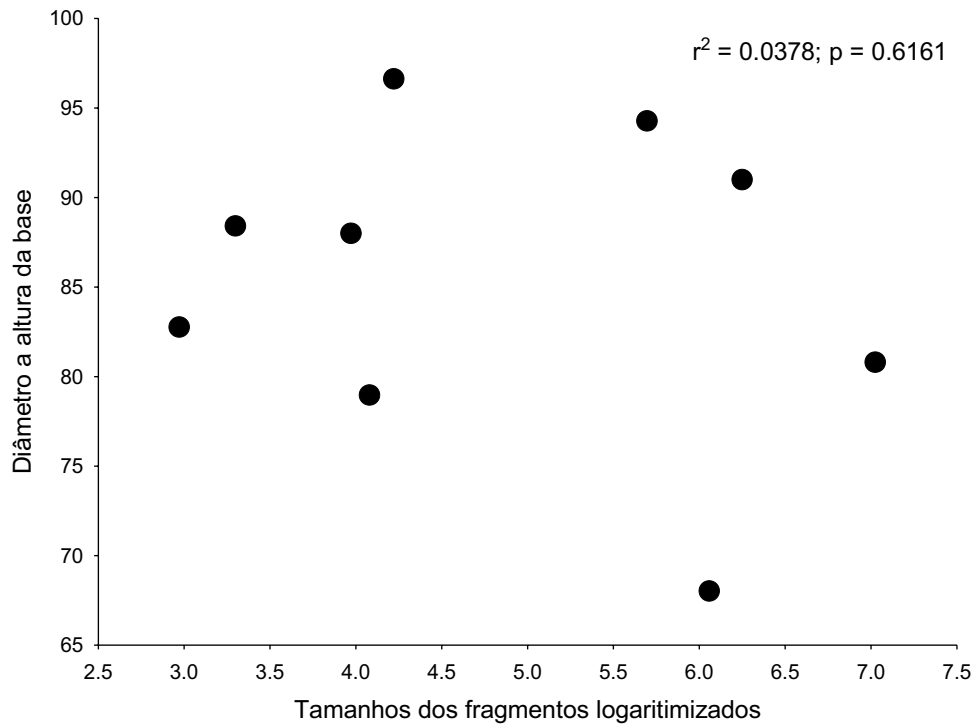


Figura 3: Análise de regressão linear simples entre o valor médio do diâmetro a 30 cm do solo dos indivíduos de *B. pachyphylla* e o tamanho dos fragmentos de cerrado *sensu stricto* no município de Hidrolândia, Goiás.

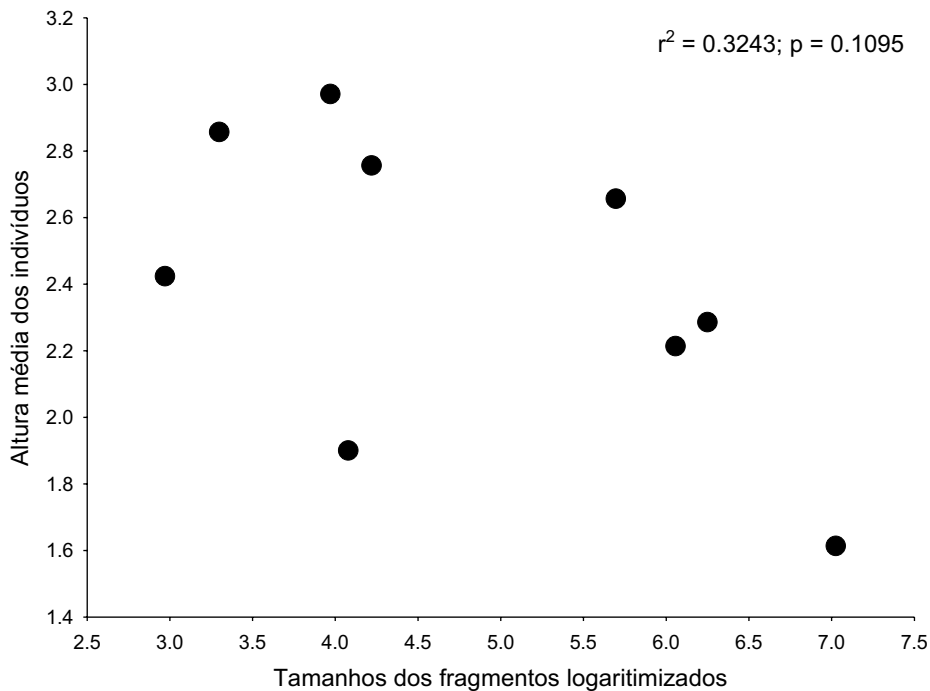


Figura 4: Análise de regressão linear simples entre a altura média dos indivíduos de *B. pachyphylla* e o tamanho dos fragmentos de cerrado *sensu stricto* no município de Hidrolândia, estado de Goiás.

A análise de regressão simples entre as taxas de fertilidade e o tamanho de cada fragmento corroborou a hipótese de que indivíduos de *B. pachyphylla* em fragmentos maiores são mais férteis (Figura 5).

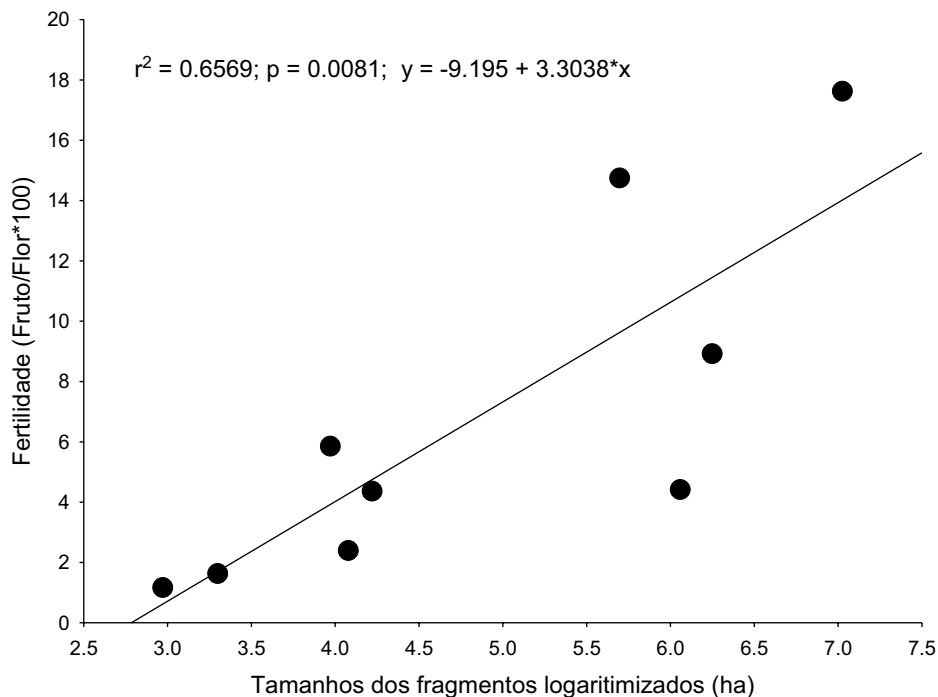


Figura 5: Análise de regressão linear simples entre a fertilidade de *B. pachyphylla* e o tamanho dos fragmentos de cerrado *sensu stricto* no município de Hidrolândia, estado de Goiás.

A autocorrelação entre plantas próximas foi confirmada. Os pares de planta dentro de um fragmento, que estão representados na primeira classe de distância apresentam autocorrelação espacial, mas entre fragmentos próximos não foi detectado este comportamento. As plantas dos fragmentos mais distantes apresentam uma autocorrelação espacial negativa na fertilidade de *B. pachyphylla* pelo índice *I* de Moran. O valor do *I* de Moran esperado sob a hipótese nula de ausência de autocorrelação é de -0.012, ou seja, valores acima deste número representam autocorrelação positiva e abaixo autocorrelação negativa (Figura 6). Os pares de plantas da sétima classe de distância, formada por pares de plantas em fragmentos com distância média de 23 km, apresentaram valor do índice *I* de Moran igual a -0.209, indicando uma correlação negativa na fertilidade de *B. pachyphylla* entre as plantas destes fragmentos ( $p < 0.001$ ). Os índices *I* de Moran encontrados

para as demais classes de distância não foram significativos, ou seja, a fertilidade do murici não é afetada pela distância entre fragmentos em pequenas escalas espaciais (Tabela 2).

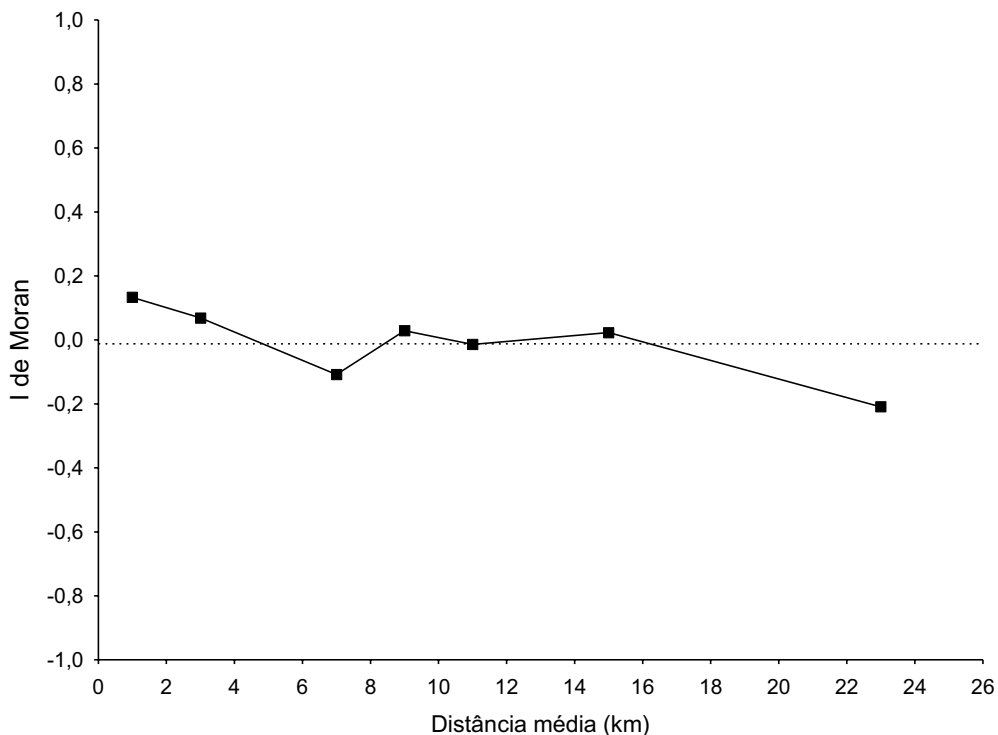


Figura 6: Autocorrelograma de Moran (I de Moran) da fertilidade de *B. pachyphylla* em fragmentos de cerrado *sensu stricto* no município de Hidrolândia, estado de Goiás. A linha tracejada indica o valor do I de Moran esperado na ausência de autocorrelação espacial (-0.012).

Tabela 2: Índices I de Moran para as cinco classes de distância e os níveis de significância estatística associados.

Classe	Número de pares	Distância mínima (Km)	Distância máxima (Km)	I de Moran	p
1	522	0	0.95	0.133	0.004*
2	521	0.96	6.28	0.069	0.069
3	527	6.29	7.73	-0.108	0.015
4	519	7.74	10.36	0.029	0.375
5	522	10.37	13.12	-0.014	0.628
6	522	13.13	17.27	0.023	0.380
7	521	17.28	29.59	-0.209	<0.001*

\* Valor estatisticamente significativo após o critério de correção de Bonferroni.

## DISCUSSÃO

### Densidade populacional e tamanho dos indivíduos

Nos fragmentos de Hidrolândia, as populações de *B. pachyphylla* são reduzidas nos fragmentos menores. Com isto, ou a fragmentação já está interferindo na diminuição da densidade populacional ou efeitos antrópicos, como corte de madeira ou lenha e pisoteio de gado, estão influenciando nesta densidade. Se a menor densidade populacional de *B. pachyphylla* é resultada do processo de fragmentação, então possivelmente as plantas mais jovens estão sofrendo com o processo de fragmentação que pode atrapalhar ou impedir seu estabelecimento. Mas, se a fragmentação for recente seu efeito no tamanho da população de plantas provavelmente ainda não ocorreu, já que estas se estabeleceram antes do início da fragmentação.

No primeiro capítulo deste trabalho, que avaliou se as maiores plantas têm maior fertilidade, foi verificado que apesar destas produzirem mais flores não produziram mais frutos, assim possivelmente a variação dos tamanhos de plantas nos fragmentos não reflete efeitos na produção de frutos do fragmento. Ainda neste capítulo, o efeito da densidade populacional de *B. pachyphylla* também não foi suficiente para melhorar a fertilidade dos indivíduos, os maiores fragmentos apresentam as maiores densidades, o que possivelmente reflete uma maior conservação destes fragmentos. Porém, maiores densidades por si só, sem a conservação do ambiente, não leva a melhores fertilidades.

As extensões maiores de área dos grandes fragmentos permitem a manutenção de mais espécies e com populações mais numerosas. O contato destes fragmentos com a matriz é menor que o contato dos fragmentos menores, sendo assim os fragmentos maiores são menos invadidos por espécies exóticas, além de menos afetados pelas atividades antrópicas realizadas na matriz, que na região do município de Hidrolândia é principalmente a criação de gado.

Fragmentos maiores são mais semelhantes funcional e estruturalmente a um sistema maior não perturbado (Rambaldi & Oliveira 2003). Áreas pequenas estão sujeitas a maior pressão de processos de degradação ambiental (Renison *et al.*, 2005), ou seja, são mais desmatadas, tem incêndios mais frequentes e sofrem mais

com a presença de gado que pisoteia o solo. Embora o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo, as queimadas utilizadas para estimular a rebrota das pastagens e para abrir novas áreas agrícolas causam perda de nutrientes, compactação e erosão dos solos. A eliminação total pelo fogo pode também causar degradação da biota nativa, pois, devido ao acúmulo de biomassa vegetal seca e à baixa umidade da época seca, uma eventual queimada nessas condições tende a gerar temperaturas extremamente altas que são prejudiciais à flora e à fauna do solo (Klink & Moreira, 2002).

Em conseqüência, os fragmentos menores apresentam menor diversidade, menores tamanhos populacionais e mais espécies invasoras oportunistas e generalistas, quebrando interações mutualistas e favorecendo estabelecimento de outras interações como competição (Aizen *et al.*, 2008). Áreas menores além de representarem populações reduzidas também representam áreas de baixa qualidade ambiental. As pequenas populações dos fragmentos menores estão mais sujeitas a perda de diversidade genética e valor adaptativo por processos como a deriva genética (Keller & Walter, 2002; Reed & Frankham, 2003). Por exemplo, as populações pequenas e isoladas da espécie vegetal *Gentianella crispata* Gentianaceae confirmam a baixa diversidade genética e a ocorrência de deriva genética nesse tipo de população (Gargano *et al.*, 2009). O resultado da combinação destes fatores é a diminuição do sucesso reprodutivo e manutenção de várias espécies.

### Fertilidade

Os dados deste estudo foram coletados em fragmentos inseridos em uma matriz de pastagem e apresentaram alterações significativas da fertilidade de acordo com o tamanho dos fragmentos. Isto indica efeitos acentuados do processo de perda de área no sucesso reprodutivo de *B. pachyphylla*. Os maiores fragmentos apresentaram as maiores fertilidades. Estes apresentaram também maiores densidades de plantas, possuindo possivelmente maiores populações de *B. pachyphylla*, alta diversidade genética, o que aumenta as chances de cruzamentos resultantes de polinização cruzada entre plantas não diretamente aparentadas. Assim como os maiores fragmentos sustentam as maiores populações de plantas

são esperadas nestas áreas maiores abundâncias e diversidade de polinizadores. A consequência de uma maior fauna de polinizadores é a manutenção da polinização em níveis de maior eficiência (Pauw, 2007). Os fragmentos maiores possibilitam a manutenção da composição de visitantes florais próxima à paisagem natural e em abundância suficiente para garantir uma taxa de visita de polinizadores. Esta alta taxa de visita levará a um sucesso reprodutivo também semelhante à de uma paisagem original. Aqui também cabem as considerações da manutenção de efeitos abióticos nessas áreas maiores. Os eventos exagerados e intensos de fogo, manutenção das condições do solo e disponibilidade de água mais próximo ao original certamente influem positivamente na manutenção destes fragmentos.

Em muitas espécies de plantas polinizadas por animais, dois fatores principais determinam a fração de flores que produzirá sementes viáveis: a limitação de pólen ocasionada pelo fracasso na polinização e a limitação de recursos para o desenvolvimento do fruto (Bierzychudek, 1981). Segundo Wilcock & Neiland (2002) o aumento do risco de falha na polinização é associado com pouco pólen chegando ao estigma ou chegando quando este não está receptivo, ou chegando muito misturado com o pólen de outras espécies. Estas situações são associadas a populações esparsas, com poucos indivíduos geneticamente semelhantes (Gargano *et al.*, 2009). A limitação de pólen (em quantidade ou qualidade) é a principal causa da diminuição do sucesso reprodutivo de plantas em habitats fragmentados (Aguilar *et al.*, 2006). E esta pode ser uma das causas da menor fertilidade de *B. pachyphylla* em fragmentos menores, onde a densidade, e provavelmente o tamanho populacional é menor.

O estudo do efeito do tamanho populacional das plantas nas colonizações e extinções da metapopulação de abelhas solitárias realizada por Frazén & Nilsson (2009) encontrou que o tamanho da população vegetal prediz a probabilidade de extinção das abelhas no fragmento. Nossos dados corroboram este estudo, uma vez que encontramos maiores fertilidades de *B. pachyphylla* em fragmentos maiores, que possivelmente possuíam maiores populações de polinizadores. Muitos trabalhos encontraram efeitos negativos da fragmentação na fertilidade de espécies vegetais (Aizen & Feinsinger 1994a; Aguilar & Galetto, 2004; Cunningham, 2000; Donaldson *et al.*, 2002; Dunley *et al.* 2009; Garcia & Chacoff 2007; Para-Tabla *et al.*, 2000; Quesada *et al.*, 2003). A avaliação do forrageamento de *Bombus* spp. em plantas de

*Brassica napus* em áreas de diferentes tamanhos e distâncias mostrou que um maior tamanho de área leva a uma maior permanência do polinizador, entretanto a distância entre as áreas não foi um fator importante (Cressewell & Osborne 2004). Já, o estudo do efeito da fragmentação no sucesso reprodutivo de *Byrsonima sericeae* não encontrou diferenças no sucesso reprodutivo desta espécie em fragmentos grandes e pequenos, mas a taxa de visitação das abelhas foi maior nos fragmentos menores, este comportamento foi associado à limitação de recurso (Dunley *et al.*, 2009). Sendo assim, além da manutenção das populações de polinizadores, mudanças no comportamento do polinizador diante da escassez de recursos é um processo chave na resposta do sucesso reprodutivo de espécies vegetais.

#### Distância entre os fragmentos

As plantas de um mesmo fragmento estão sujeitas a condições ambientais semelhantes, estão expostas a mesma comunidade de polinizadores, o que favorece fertilidades semelhantes. Já entre fragmentos a heterogeneidade do ambiente é maior, sendo que a fertilidade não é estruturada espacialmente, mesmo entre fragmentos próximos, o que é evidenciado pelos valores dos índices *I* de Moran encontrados neste estudo. Sendo que, somente a última classe de distância teve autocorrelação espacial negativa confirmada, demonstrando que grandes distâncias estão associadas à falta de comunicação e conseqüentes disparidades entre fragmentos, mas outros fatores além da distância determinam diferenças na fertilidade de *B. pachyphylla*.

A distância não determina sozinha a comunicação e a semelhança entre fragmentos, já vimos que o tamanho do fragmento é extremamente importante para determinar a fertilidade de *B. pachyphylla*. E os índices de *I* de Moran encontrados neste estudo confirmaram autocorrelação espacial positiva somente entre as plantas de um mesmo fragmento, que estão representadas na primeira classe de distância, a partir da segunda classe não há autocorrelação espacial positiva. Portanto, um fragmento pequeno próximo a um fragmento grande pode não ter a mesma fertilidade, já que as dificuldades em manter a fertilidade das plantas em baixas densidades populacionais, encontradas nos fragmentos pequenos, são maiores.

Populações pequenas de plantas possuem um menor número de indivíduos reprodutivos, o que representa um cenário de baixa disponibilidade de recurso para polinizadores (Frazén & Nilsson, 2009). Segundo Cunningham (2000), polinizadores podem não visitar populações de plantas pequenas e isoladas, conduzindo-as ao fracasso reprodutivo.

As abelhas da tribo Centridini são de médio a grande porte, e segundo Tscharrntke *et al.* (2002) apresentam uma relação linear entre o tamanho do corpo e distância que percorrem para forragear; o que possibilita visitas em plantas isoladas mitigando a separação da população após a fragmentação (Ghazoul & Shanker, 2004). Apesar disso, outros estudos como o de Steffan-Dewenter *et al.* (2002) afirmam que a guilda das abelhas solitárias é a guilda de abelhas mais afetada pela perda de habitat, e em pequenas escalas de fragmentação já é possível visualizar a diminuição de suas populações devido a sua especificidade de requerimento para forrageamento deste grupo de abelhas..Ou seja, os vôos longos podem garantir a *B. pachyphylla* fertilidades semelhantes nas plantas de um fragmento, mas não entre fragmentos. Efeitos como o tamanho da área são mais importantes para determinar o sucesso reprodutivo desta espécie. A conectividade de fragmentos não também não explicou as taxa de extinção e colonização de *Andrena harttofiana*, abelha solitária, estudada por Frazén & Nilsson (2009) estas taxas foram correlacionas ao tamanho populacional da planta *Knautia arvensis*, fornecedora de recurso para a abelha.

Uma modificação abrupta da matriz também pode funcionar como barreira na dispersão de polinizadores mesmo em pequenas distâncias. A espécie de orquídea *Pterygodium catholicum* que é polinizada pela abelha coletora de óleo *Rediviva peringueyi* em pequenas áreas de conservação, apresenta produções menores de sementes em áreas pequenas e inseridas em matriz urbana, somente o efeito do tamanho da área sozinho não é suficiente para diminuir a fertilidade da espécie (Pauw, 2007). O aumento do isolamento pode determinar a diminuição da produção de frutos e sementes (Steffan-Dewenter & Tscharrntke, 1999). Entretanto, variações na produção de sementes também podem ser atribuídas a variações na disponibilidade de recursos para o crescimento, na disponibilidade de recursos genéticos e na proporção de polinização (Wilcock & Neiland, 2002). Fragmentos com muita borda, como os de pequena área, também tem problemas maiores no

estabelecimento de espécies, já que as modificações abióticas são intensas (Denys & Tschardtke, 2002).

Todos estes fatores podem estar ocorrendo nos fragmentos de Hidrolândia e podem então explicar a dissimilaridades entre os fragmentos, mesmo dos mais próximos geograficamente. A soma destes fatores determina uma maior importância da qualidade do fragmento, do que da distância deste em relação a outros fragmentos, no sucesso reprodutivo de *B. pachyphylla*. Ou seja, só uma pequena distância geográfica entre fragmentos não assegura condições bióticas e abióticas semelhantes nestes fragmentos e a manutenção da fertilidade de *B. pachyphylla*.

## CONCLUSÃO

Nos fragmentos de Hidrolândia o efeito do tamanho da área na densidade e na fertilidade de populações de *Byrsonima pachyphylla* foi positivo. Os maiores fragmentos apresentaram as maiores fertilidades e densidades populacionais. Já o efeito da distância, não foi encontrado, sendo que fragmentos próximos não possuem fertilidades semelhantes. No primeiro capítulo deste trabalho verifiquei que a densidade populacional de *B. pachyphylla* não influencia a fertilidade dos indivíduos. Provavelmente, a conservação das populações nos fragmentos maiores determina as maiores densidades e fertilidades de *B. pachyphylla*. Assim, como estes fragmentos sustentam as maiores populações de plantas são esperadas nestas áreas maiores abundâncias e diversidade de polinizadores. Uma maior disponibilidade de polinizadores é fundamental para a manutenção da polinização em níveis de maior eficiência.

As plantas de um mesmo fragmento estão sujeitas às condições ambientais semelhantes, estão expostas à mesma comunidade de polinizadores, o que favorece fertilidades semelhantes. Já entre fragmentos a heterogeneidade do ambiente é maior, sendo que a fertilidade não é semelhante, mesmo entre fragmentos próximos. Portanto, um fragmento pequeno próximo a um fragmento grande pode não ter a mesma fertilidade, já que os problemas em manter a fertilidade das plantas em baixas densidades populacionais, encontradas nos fragmentos menores, são grandes. Ou seja, há uma maior influência da qualidade do fragmento do que da distância entre eles no sucesso reprodutivo de *B. pachyphylla*. Portanto, para a conservação desta espécie é necessário o estabelecimento de grandes áreas de conservação, situação exatamente oposta à realidade atual das unidades de preservação do estado de Goiás.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alho, C.J.R., & Martins, E.S. (1995) De grão em grão o cerrado perde espaço (Cerrado - impactos do processo de ocupação). W.W.F./PRO – CER, Brasília.

Aizen, M. A. & Feinsinger, P. (1994)a Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a chaco dry forest, Argentina. *Ecology* 75, 330-351.

Aizen, M. A. & Feinsinger, P. (1994)b Habitat fragmentation, natives insect pollinators and feral honeybee in Argentine 'Chaco Serrano'. *Ecol. Appl.* 4, 378-392.

Aizen, M. A., & Harder, I. D. (2007) Expanding the limits of the pollen-limitation concept: effects of pollen quantity and quality. *Ecology* 88 (2), 271–281.

Aizen, M. A., Morales, Carolina L., Morales, & Juan M. (2008) Invasive mutualists erode native pollination webs. *Plos Biology* 6 (2), 396-403.

Aguilar, R. & Galetto, L. (2004) Effects of forest fragmentation on male and female reproductive success in *Cestrum parqui* (Solanaceae). *Oecologia* 138, 213–220.

Aguilar, R., Ashworth, L., Galetto, L., & Aizen, M. A. (2006) Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters* 9, 968-980.

Bierzychudek, P. (1985) Pollinator limitation of plant reproductive effort. *Am. Nat.* 117, 838–840.

Buchmann, S. L. (1987) The ecology of oil flowers and their bees. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18, 343-369.

Carmo, R. M. (2005) *Biologia reprodutiva de Cabralea canjerana subsp. canjerana e a influência do tamanho do fragmento florestal no sucesso reprodutivo e diversidade*

*genética*. Tese de doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

Carmo, R. M., Franceschinelli, E. V., & Silveira, F. A. (2004) Introduced Honeybees (*Apis mellifera*) Reduce pollination success without affecting the floral resource taken by native pollinators. *Biotropica*. 36 (3), 371–376.

Cresswell, J. E. & Osborne, J. L. (2004) The effect of patch size and separation on bumblebee foraging in oilseed rape: implications for gene flow. *Journal of Applied Ecology*. 41, 539–546.

Cunha, H. F., Ferreira, A. A., Brandão, D. (2007) Composição e Fragmentação do Cerrado em Goiás usando Sistema de Informação Geográfica (SIG). *Boletim Goiano de Geografia* 27(2), 139-152.

Cunningham, S. A. (2000) Depressed pollination in habitat fragments causes low fruit set. *Proceedings: Biological Sciences* 267,1149-1152.

Dambrós, L. A., Oliveira, A. B., Del'Arco, J. O., Santos, L. M. D, Almeida, F. J., Bezerra, V. M. A., Furlanetto, D. A., & Ferreira, E. F. (1994) Zoneamento Ecológico-Econômico da Área do Aglomerado Urbano de Goiânia.

Donaldson J., Nanni, I., Zachariades, C. & Kemper, J. (2002) Effects of habitat fragmentation on pollination diversity and plant reproductive success in renosterveld shrublands of South África. *Conserv. Biol.* 16, 1267-1276.

Dunley, B. S., Freitas, L., & Galetto, L. (2009) Reproduction of *Byrsonima sericea* (Malpighiaceae) in restinga fragmented habitats in Southeastern Brazil. *Biotropica* 41(6), 692–699.

Eiten, G. (1994) Vegetação. *In: Pinto, M. N. (org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas.* (p. 17-23). Universidade de Brasília.

Ewers, R. M. & Didham, R. K. (2006) Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biol. Rev.* 81, 117–142.

Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34, 487-515.

Feinsinger, P. (1983) Coevolution and pollination. *In: Coevolution.* Futuyma, D. e Slatkin, M. (Eds), pp. 282-311. Boston, MA: Sinauer.

Frazén, M. & Nilsson, S. G. (2009) Both population size and patch quality affect local extinctions and colonizations. *Proc. R. Soc. B.* 277(1678), 79-85.

Garcia D. & Chacoff N. P. (2007) Scale-Dependent effects of habitat fragmentation on hawthorn pollination, frugivory, and seed Predation. *Conservation Biology*, 21(2), 400–411.

Gargano, D., Bellusci, F., Pellegrino, G., Palermo, A. M., Bernardo, L., & Musacchio, A. (2009) The conservation perspectives and value of small and isolated plant populations: preliminary clues for *Gentianella crispata* (Gentianaceae) at the western boundary of its range. *Ann. Bot. Fennici* 46, 115-124.

Ghazoul, J., & R. U. Shaanker. (2004) Sex in space: A synthesis. *Biotropica* 36, 180–183.

Goiás. (2002) Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SEMARH), Agência Ambiental de Goiás, Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente (PNUMA) e Fundação Centro Brasileiro de Referência e Apoio Cultural (CEBRAC). GeoGoiás 2002 - Estado Ambiental de Goiás. Goiânia, CD-ROM.

Haila, Y. (2002) A conceptual genealogy of fragmentation research: from island biogeography to landscape ecology. *Ecological Applications* 12(2), 321-334.

Harrison, R.L. (1992) Toward a theory of inter-refuge corridor design. *Conservation Biology*, 6, 293-295.

IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acessado em 30 de outubro de 2009.

Jacquemyn, H., Brys, R., & Hermy, M. (2002) Patch occupancy, population size and reproductive success of a forest herb (*Primula elatior*) in a fragmented landscape. *Oecologia* 130, 617–625.

Jules, E.S. & Rathcke, B.J. (1999). Mechanisms of reduced Trillium recruitment along edges of old-growth forest fragments. *Conserv. Biol.* 13, 784–793.

Keller, L. F. & Waller, D. M. (2002) Inbreeding effects in wild populations. *Trends in Ecology e Evolution* 17, 230-241.

Klink, C.A. & Machado, R.B. (2005) A Conservação do Cerrado Brasileiro. *Megadiversidade*, 1(1),147-155.

Klink, C.A. & Moreira, A.G. (2002). Past and current human occupation and land-use. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). *The Cerrado of Brazil. Ecology and natural history of a neotropical savanna.* (pp. 69-88) Columbia University Press, New York.

Krauss, S.L., Hermanutz, L., Hopper, S.D. & Coates, D.J. (2007) Population-size effects on seeds and seedlings from fragmented eucalypt populations: implications for seed sourcing for ecological restoration. *Australian Journal of Botany* 55, 390–399.

Krebs, C. J. (1999) *Ecological methodology*. N. York: Harper Collins.

Lamont, B. B., Klinkhamer, P. G. L. & Witkowski, E. T. F. (1993) Population fragmentation may reduce fertility to zero in *Banksia goodii* — a demonstration of the Allee effect. *Oecologia* 94, 446-450.

Legendre, P. & Legendre, L. (1998) *Numerical ecology*. Elsevier, Amsterdam. 853p.

Lovejoy, T. E. (1980) Discontinuous wilderness: minimum areas for conservation. *Parks* 5(2), 5-13.

Murcia, C. (1990) Effect of floral morphology on pollen receipt and removal in *Ipomoea trichocarpa*. *Ecology* 71, 1098-1109.

Murcia, C. (1996) Forest fragmentation and the pollination of neotropical plants. In: Schelhas, J., Greenberg, R. (Eds.) *Forest Patches in tropical landscapes*. (pp. 19-37) Washington, D.C. – Island Press.

Myers, N., R. A. Mittermeier., C. G. Mittermeier., G. A. B. Fonseca., & J. Kent. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858.

Parra-Tabla, V., Vargas, C.F., Magaña-Rueda, S., & Navarro, J. (2000) Female and male pollination success of *Oncidium ascendens* Lindey (Orchidaceae) in two contrasting habitat patches: forest vs. agricultural field. *Biol. Conserv.* 94, 335–340.

Pauw, A. (2007) Colapso of a pollination web in small conservation areas. *Ecology*. 88 (7), 1759-1769.

Quesada, M., Stoner, K. E., Rosas-Guerrero, V., Palacios-Guevara, C., & Lobo, J. A. (2003) Effects of habitat disruption on the activity of nectarivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in a dry tropical forest: implications for the reproductive success of the neotropical tree *Ceiba grandiflora*. *Oecologia* 135, 400–406.

Rambaldi, D. M., & Oliveira, D. A. S. (2003) Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

Rangel, T.F.L.V.B., Diniz-Filho, J. A. F., & Bini, L. M. (2006) Towards an integrated computational tool for spatial analysis in macroecology and biogeography. *Global Ecol. Biogeogr.* 15, 321-327.

Rathcke, B. J., & Jules, E. S. (1993) Habitat fragmentation and plant-pollinator interactions. *Current Science* 65 (3), 273-277.

Reed, D. H. & Frankham, R. (2003) Correlation between fitness and genetic diversity. *Conservation Biology* 17, 230-237.

Renison, D., Cingolani, A. M., Suarez, R., Menoyo, E., Coutsiers, C., Sobral, A., & Hensen, I. (2005) The restoration of degraded mountain forests: effects of seed provenance and microsite characteristics on *Polylepis australis* seedling survival and growth in Central Argentina. *Rest Ecol* 13, 129–135.

Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (1998) Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M., Almeida, S. P. (Eds) Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, EMBRAPA. 556p.

Ries, L.; Fletcher Jr., R.J., Battin, J., & Sisk, T.D. (2004) Ecological responses to habitat edges: Mechanisms, models, and variability explained. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35, 491–522.

Schmitt, J. (1980) Pollinator foraging behavior and gene dispersal in *Senecio* (Compositae). *Evolution* 34, 934-943.

Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., & Tschardtke, T. (2002) Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology* 83(5), 1421–1432.

Steffan-Dewenter, I. & Tschardtke, T. (1999) Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia* 121, 432–440.

Tschardtke, T. & Brandl, R. (2004) Plant–insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Reviews of Entomology* 49, 405–430.

Tschardtke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A. & Thies, C. (2002) Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. *Ecological Applications* 12, 354–363.

Turner, I. M., & Corlett, R. T. (1996) The conservation value of small, isolated fragments of lowland tropical rain forest. *Trends in Ecology & Evolution* 11(8), 330-333.

Verdesio, J.J. (1994). As perspectivas ambientais do cerrado brasileiro. p. 585, In: M. N. Pinto (org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 2ª ed. Brasília, SEMATEC/ Ed.UnB.

Waser, N. M. (1982) A comparison of distances flown by different visitors to flowers of the same species. *Oecologia* 55, 251-257.

Waser, N. M., & Price, M. V. (1989) Optimal outcrossing in *Ipomopsis aggregata*: seed set and offspring fitness. *Evolution* 43, 1097-1109.

Wilcock, C. & Neiland, R. (2002) Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. *Trends in Plant Science* 7 (6), 270-277.