



INFLUÊNCIA DA ESTRADA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DE *ERYTHROXYLUM SUBEROSUM*, A OCORRÊNCIA DE GALHAS E DE HERBIVORIA FOLIAR

LUAN DA SILVA VITTO; ELZA MARIA GUIMARÃES SANTOS; PRISCILA TEIXEIRA TUNES

RESUMO

As interações planta-inseto são complexas e diversas, podendo ser benéficas ou prejudiciais para as plantas e os insetos envolvidos. No contexto das interações com herbívoros, as plantas dispõem de vários mecanismos de defesa, incluindo defesas químicas e físicas. Um exemplo notável é a formação de galhas entomógenas, estruturas induzidas por herbívoros que proporcionam alimentação e proteção contra parasitoides e predadores e condições ambientais adversas. Este fenômeno é particularmente prevalente em ambientes com estações secas bem definidas, como o Cerrado, que inclui ecossistemas com alta diversidade de galhas. O presente estudo foi realizado na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB) e analisou a influência de uma estrada na distribuição da espécie vegetal *Erythroxylum suberosum* e nas interações que esta espécie estabelece com herbívoros. Foram comparadas áreas às margens da estrada com o interior do fragmento de cerrado, observando a densidade populacional de *E. suberosum*, a ocorrência de galhas e o nível de herbivoria na espécie. Os resultados indicaram maior quantidade de galhas no interior do fragmento, sugerindo que este ambiente mais protegido favoreceria a oviposição de insetos galhadores. A densidade populacional de *E. suberosum* não diferiu significativamente entre a margem da estrada e o interior da vegetação, indicando que a espécie é capaz de se estabelecer e se manter em locais com diferentes condições ambientais. O estudo revelou que plantas em áreas de margem da estrada, sujeitas a maior perturbação, apresentam número menor de galhas, possivelmente devido à menor complexidade do habitat e à maior exposição a inimigos naturais. Além disso, as galhas são maiores na margem, possivelmente devido à pressão de parasitoides e predadores que podem estar mais presentes nesse local. Essa área mais hostil também pode resultar em menos fêmeas ovipondo do que no interior. Não houve diferença no índice de herbivoria entre as plantas à margem da estrada e no interior da vegetação, o que é comumente observado em ambientes florestais.

Palavras-chave: interação animal-plantas; insetos galhadores; herbívoros; perturbação; Cerrado.

1 INTRODUÇÃO

As interações planta-inseto podem ocorrer nas mais diversas formas, sendo positivas ou negativas tanto para as espécies vegetais quanto para os insetos. As interações envolvendo herbívoros podem representar um desafio para a sobrevivência das plantas, entretanto elas apresentam uma série de mecanismos de defesa. Mesmo as plantas sendo organismos sésseis, esses mecanismos podem dificultar o acesso dos herbívoros aos recursos disponíveis, devido, por exemplo, à composição da assembleia vegetal e à arquitetura das plantas (Araújo, 2011), à densidade vegetal (Gonçalves-Alvim; Fernandes, 2001) e a barreiras químicas.

Uma forma de interação entre plantas e herbívoros ocorre através da formação de galhas, quando parasitas ou patógenos infectam as plantas e induzem a formação dessas estruturas nas

plantas por meio do crescimento do volume celular (hipertrofia) e/ou do aumento do número de células (hiperplasia) (Price *et al.*, 1987; Price, 2005). Além de fornecerem alimento ao hospedeiro, as galhas podem oferecer proteção aos mesmos contra predação e condições microambientais desfavoráveis (Price *et al.*, 1987; Araújo, 2011). Quando se trata de insetos galhadores, esses são espécie-específicos, o que permite sua identificação através da morfologia das galhas (Floate *et al.*, 1996; Carneiro *et al.*, 2009).

Esse tipo de interação ocorre principalmente em ambientes sazonalmente secos, como em diversas fitofisionomias de cerrado (Fernandes; Price, 1988), que, segundo Araújo *et al.* (2014), é um dos ecossistemas com maior diversidade de galhas do mundo. Nesses ambientes, é comum as plantas possuírem características esclerófilas e altas concentrações de taninos em suas folhas, constituindo uma barreira química à herbivoria (Fernandes; Price, 1988). Entretanto, esses compostos químicos podem não ter efeito sobre esses parasitas e, ainda, favorecer a defesa das larvas dos insetos galhadores contra parasitoides e predadores (Fernandes; Price, 1992; Maia; Silva, 2021).

Além das condições climáticas naturais do Cerrado que permitem e modulam as interações entre plantas e insetos galhadores, as ações antrópicas também podem afetar essas relações. Segundo Carvalho *et al.* (2009), a perda de biodiversidade nesse ecossistema está diretamente relacionada às modificações ambientais, que podem levar ao declínio de espécies e, conseqüentemente, das íntimas relações que estabelecem. O Cerrado é um dos ambientes brasileiros que mais vem sofrendo com ações antrópicas e um dos efeitos mais preocupantes é a fragmentação de habitats, que resulta em regiões com descontinuidade de vegetação (Ries *et al.*, 2004), afetando principalmente os insetos da comunidade (Sánchez-Bayo; Wyckhuys, 2019). Além dos impactos na entomofauna, há também efeitos sobre as plantas, sendo que as que estão sob algum tipo de estresse são mais propensas à ataques de herbívoros, pois produzem menos compostos secundários e, conseqüentemente, possuem menos defesas químicas, por exemplo. Urso-Guimarães *et al.* (2021) relatam que em uma região com plantas que estão em alto nível de estresse ambiental, há uma maior riqueza de morfotipos de galhas.

Uma das principais causas de fragmentação de habitat no Cerrado é a criação de estradas e rodovias (Oliveira, 2020). A abertura dessas vias causa perturbações nas plantas e nos animais presentes no local, promovendo a redução da qualidade do habitat e afetando principalmente espécies nativas (Ries *et al.*, 2004). Esse tipo de perturbação pode afetar a distribuição e abundância das espécies vegetais da beira da estrada em comparação com espécies/indivíduos que estão no interior dos fragmentos (Ishino *et al.*, 2012; Mendonça *et al.*, 2015). Esse estresse pode alterar, além da arquitetura das plantas, suas vias biossintéticas (Milligan *et al.*, 2008; Ishino *et al.*, 2012), que podem ser essenciais para a defesa dessas espécies contra herbívoros. Com esse panorama, o presente trabalho teve como objetivos (i) avaliar se a perturbação causada por uma estrada em um fragmento de Cerrado afeta a distribuição de *Erythroxylum suberosum* e (ii) avaliar se essa perturbação afeta a ocorrência de galhas e a herbivoria foliar nessa espécie vegetal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O estudo foi realizado em áreas de cerrado *sensu stricto* na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), no município de Águas de Santa Bárbara, SP. Essa unidade de conservação está localizada em uma região com verão quente e úmido e inverno seco, com temperatura média anual entre 18°C e 24°C e precipitação média anual entre 1000 e 1300 mm (Melo; Durigan, 2011).

Espécies de estudo

Para realização deste estudo, utilizamos como modelo a espécie *Erythroxylum suberosum* A. St.-Hilaire (Erythroxylaceae) que ocorre em abundância na área estudada. Trata-se de uma espécie com hábito arbustivo, com caule lenhoso perene que pode atingir até 4 m de altura. Não é endêmica do Brasil e possui vasta distribuição geográfica, ocorrendo em diversas fitofisionomias de biomas brasileiros e mundiais (Tropical Plants Database, 2020).

Densidade populacional

Para medir a densidade, ou seja, o número de plantas de *E. suberosum* por área, estabelecemos 5 parcelas de 5 x 25 m em cada local (margem e interior). Todos os indivíduos da espécie dentro dessas parcelas foram contabilizados.

Coleta de folhas

Percorremos 50 m ao longo da estrada e 50 m dentro do fragmento. Amostramos aleatoriamente 50 plantas encontradas em cada local com altura superior a 50 cm ($n = 50$ plantas/área). Foram coletadas 10 folhas de cada indivíduo, localizadas nos ramos inferiores voltados ao sul. A coleta de folhas na porção inferior da planta permite padronizar a amostragem de folhas que tenham maior tempo de vida e tenham acumulado herbivoria ao longo desse período.

Ocorrência de galhas e herbivoria

Para mensurar as galhas e a herbivoria nas folhas, utilizamos uma metodologia adaptada da proposta por Dirzo & Domínguez (1995) e classificamos as mesmas em 5 categorias, baseadas na porcentagem da área foliar ocupada pelas galhas ou removida pelos herbívoros, sendo Categoria 1: 1-15%; Categoria 2: 16-25%; Categoria 3: 26-50%; Categoria 4: 51-75%; Categoria 5: 76-100%.

Análises estatísticas

Inicialmente, calculamos a média ponderada da área foliar ocupada pelas galhas (Equação 1) e da área foliar removida pelos herbívoros (Equação 2), estabelecendo assim:

Equação 1. Índice de galhas

$$\bar{X}_{galhas\ por\ planta} = \frac{\sum(n^{\circ}\ folhas\ na\ categoria\ i \times i)}{n}$$

Equação 2. Índice de herbivoria

$$\bar{X}_{herbivoria\ por\ planta} = \frac{\sum(n^{\circ}\ folhas\ na\ categoria\ i \times i)}{n}$$

Também foram realizados testes de Mann-Whitney para avaliar se havia diferença na quantidade de galhas, na área foliar ocupada por galhas e na área foliar removida pelos herbívoros entre o interior e a margem do fragmento. Para avaliar se a distribuição de *E. suberosum* difere entre as áreas estudadas foi realizado Teste-T.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observamos 1148 galhas em 429 folhas no interior do fragmento. As plantas localizadas às margens da estrada apresentaram menos galhas ($p < 0,05$, Tabela 1, Figura 1), totalizando 887 galhas em 411 folhas. Em ambos os locais a maioria de cobertura de galhas foi enquadrada na Categoria 1 (1-15%) (Tabela 2). Das 500 folhas coletadas no interior do fragmento, foram encontradas 161 com herbivoria, sendo 63.35% dessas enquadrada na Categoria 1 (1-15%) e nenhuma na Categoria 5 (76-100%) (Tabela 2). O mesmo padrão de categorias foi observado

nas plantas amostradas na beira da estrada, mas com um número maior de folhas com herbivoria, totalizando 201.

Tabela 1. Resultado dos testes de Mann-Whitney e Teste-T.

Parâmetros	Teste	Valor de P
Quantidade de galhas	W = 920,5	p = 0,02772
Índice de cobertura da folha pela galha	W = 1024,5	p = 0,1203
Índice de herbivoria	W = 1456,5	p = 0,1533
Distribuição de <i>E. suberosum</i>	T = 0,50596	p = 0,6332

Foi observado que há diferença na quantidade média de galhas presentes nas folhas entre os dois ambientes (Tabela 1, Figura 1). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas quanto ao índice de cobertura da folha pela galha e ao índice de herbivoria foliar entre a margem e o interior do fragmento (Tabela 1).

Tabela 2. Ocorrência de galhas e herbivoria em folhas de *E. suberosum*, no interior e margem do fragmento

Local	Interior						Margem					
Categoria	1	2	3	4	5	Total	1	2	3	4	5	Total
Galhas	234	98	65	21	11	429	245	95	39	24	8	411
Herbivoria	102	36	18	5	0	161	146	42	12	1	0	201

Nossos dados mostram que não houve diferença quanto à densidade de plantas na beira da estrada e no interior do fragmento ($p > 0,05$), indicando que *E. suberosum* possui uma boa adaptação aos diversos tipos de ambiente, inclusive na margem de fragmentos, onde há maior ocorrência de perturbações. Como essa é uma espécie que ocorre em praticamente toda a América do Sul e América Central (Tropical Plants Database, 2020), é esperado que ela tenha capacidade de se estabelecer em diferentes condições ambientais.

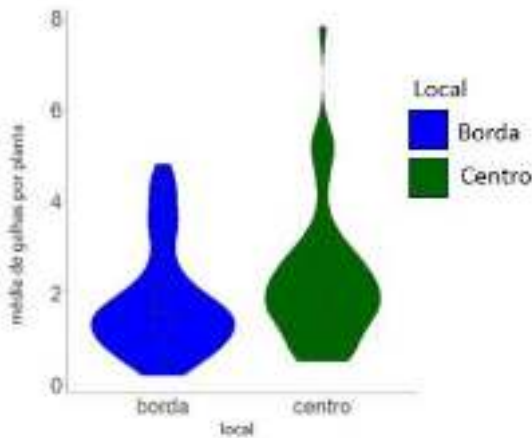


Figura 1. Média de galhas por planta em função do local

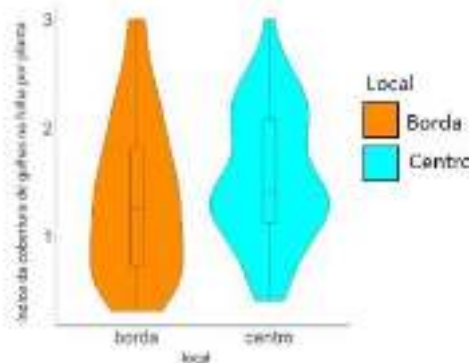


Figura 2. Índice de cobertura das folhas por galhas por planta em função do local

Apesar de não haver diferença na densidade de indivíduos de *E. suberosum* entre a margem e o interior do fragmento, observou-se uma diferença na quantidade média de galhas por planta, sendo esta maior no interior do que na margem do fragmento (Figura 1). Isso pode ser atribuído a possíveis variações em compostos especializados produzidos por plantas vegetando em diferentes locais (Milligan *et al.*, 2008; Ishino *et al.*, 2012), além de alterações

na arquitetura das plantas causadas por perturbações, como podas periódicas para manter a estrada transitável. Esses e outros fatores podem influenciar a preferência dos insetos galhadores (Thompson, 1988). A maior ocorrência de galhas no interior do fragmento também pode indicar que esse ambiente oferece maior complexidade e segurança para a oviposição das fêmeas galhadoras, que tendem a escolher locais menos expostos a inimigos naturais para o desenvolvimento de sua prole (Price *et al.*, 1980; Thompson, 1988).

Considerando que nas plantas que ocorrem nas margens há uma quantidade menor de galhas, mas que ocupam uma porção semelhante das folhas em relação às plantas do interior, pode-se concluir que as galhas são maiores na beira da estrada. Segundo Price & Clancy (1986), o diâmetro das galhas é influenciado pelas características da planta, e pequenas variações no tamanho podem impactar a interação das larvas com seus parasitoides e predadores, onde galhas menores tornam as larvas mais acessíveis à predação (Price; Clancy, 1986; Maia; Silva, 2021). Além da influência das plantas, esses predadores também podem ter um impacto no diâmetro das estruturas, atuando como agente de seleção direcional para que as larvas ocupem galhas maiores a cada geração, já que isso as tornaria menos suscetíveis a ataques (Price; Clancy, 1986). Os resultados do presente trabalho indicam que as galhas de plantas na margem do fragmento são maiores, o que pode ser resultado de sucessivas pressões ecológicas exercidas por parasitoides e predadores, que podem ser mais abundantes nesse tipo de ambiente. Além disso, sendo a margem do fragmento um ambiente possivelmente mais hostil, pode haver menor quantidade de fêmeas ovipondo nesse local (Price; Clancy, 1986; Thompson, 1988) do que no interior.

Por fim, não foi observada diferença no índice de herbivoria entre a margem e o interior do fragmento. Isso pode ser contraditório, uma vez que as perturbações nas margens podem criar um ambiente hostil também para os herbívoros (Yamazaki, 2011). No entanto, essa ausência de diferença é um dado comum para ambientes florestais (Urbas *et al.*, 2007), e pode ser também em ambientes pouco densos, como a área de Cerrado *sensu stricto* aqui estudada. Pelo fato de ser uma formação savânica, o interior dos fragmentos de cerrado pode apresentar características bióticas e abióticas semelhantes às da margem, o que pode não afetar a assembleia de herbívoros. Isso foi observado por Santos (2017), que também não encontrou diferença na herbivoria entre a margem e o interior do fragmento em uma espécie de Cerrado.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho traz uma visão abrangente das relações planta-inseto galhador no Cerrado, utilizando a espécie *Erythroxylum suberosum* como modelo de estudo. Observou-se que essa espécie não tem sua distribuição espacial limitada por perturbações, como o efeito da estrada, que cria alterações na margem no fragmento onde ela ocorre. Essa é uma espécie que apresenta alta incidência de galhas e de herbivoria, com a quantidade média de galhas encontradas por planta variando entre a beira da estrada e o interior do fragmento. Essa variação pode estar relacionada à preferência das fêmeas de insetos galhadores quanto ao local de oviposição, uma vez que elas podem escolher plantas que favoreçam o desenvolvimento das larvas ou que o interior do fragmento ofereça um ambiente mais complexo e protegido contra predadores naturais da prole.

Embora não tenha sido observada diferença na área foliar ocupada por galhas por planta entre a margem e o interior, o número médio de galhas é maior na beira da estrada, mas com tamanho maior. Isso pode ser explicado por pressões ecológicas dos parasitoides e predadores das larvas, que podem ser mais numerosos nessa área. Esses predadores forçam as larvas a produzirem galhas maiores a cada geração, e a margem pode ser um ambiente mais hostil para as fêmeas, resultando em menor oviposição.

Em relação aos dados de herbivoria, não foram encontradas diferenças significativas entre a margem e o interior do fragmento, algo que é mais comum em vegetações florestais do

que em vegetações mais abertas. Este trabalho possui algumas limitações como por exemplo o estudo de perturbação causado pela estrada ser desenvolvido em áreas próximas que abrangem uma única fitofisionomia do Cerrado. Também não foi investigado a presença de predação nas galhas e se havia diferença desse tipo de relação na margem e no interior do fragmento. Experimentos futuros podem considerar outras fitofisionomias, incluindo áreas com maior e menor densidade de plantas e também incluir a interação de galhas com seus parasitoides e predadores.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, W. S. Padrões de diversidade de insetos galhadores no Cerrado: a importância da comunidade de plantas. **Dissertação** (mestrado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Goiás, 60 p., 2011.

ARAÚJO, W. S.; SOBRAL, F. L.; MARACAHIPES, L. Insect galls of the Parque Nacional das Emas (Mineiros, GO, Brazil). **Check List**, v. 10, n. 6, p. 1445-1451, 2014

CARNEIRO, M. A. A.; BRANCO, C. S. A.; BRAGA, C. E. D.; ALMADA, E. D.; COSTA, M. B. M.; MAIA, V. C.; FERNANDES, G. W. Are gall midge species (Diptera, Cecidomyiidae) host-plant specialists? **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 3, p. 365-378, 2009.

CARVALHO, F. M.; JÚNIOR, P. D. M.; FERREIRA, L. G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological conservation**, v. 142, n. 7, p. 1392-1403, 2009.

DIRZO, R.; DOMÍNGUEZ, C.A. Plant-herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forests. In: Seasonally dry tropical Forests. BULLOCK, H.; MEDINA, E.; MOONEY, H. A. (eds.). Cambridge: **Cambridge University Press**. pp. 304-325, 1995.

FERNANDES, G. W.; PRICE, P. W. Biogeographical gradients in galling species richness: tests of hypotheses. **Oecologia**, v. 76, n. 2, p. 161-167, 1988.

FERNANDES, G. W.; PRICE, P. W. The adaptive significance of insect gall distribution: Survivorship of species in xeric and mesic habitats. **Oecologia**, v. 90, n. 1, p. 14- 20, 1992.

FLOATE, K. D.; FERNANDES, G. W.; NILSSON, J. A. Distinguishing intrapopulational categories of plants by their insect faunas: galls on rabbitbrush. **Oecologia**, v. 105, n. 2, p. 221-229, 1996.

GONÇALVES-ALVIM, S. J.; FERNANDES, G. W. Biodiversity of galling insects: historical, community and habitat effects in four neotropical savannas. **Biodiversity and Conservation**, v. 10, n. 1, p. 79-98, 2001.

ISHINO, M. N.; SIBIO, P. R.; ROSSI, M. N. Edge effect and phenology in *Erythroxylum tortuosum* (Erythroxylaceae), a typical plant of the Brazilian Cerrado. **Brazilian Journal of Biology**, n. 72, v. 3, p. 587-594, 2012.

MAIA, V. C.; SILVA, B. G. Insect galls of the Brazilian Cerrado: associated fauna. **Biota Neotropica**, v. 21, n. 3, e20211202, 2021.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Plano de manejo da estação ecológica de Santa Bárbara. São Paulo: **Instituto Florestal**, 222 p., 2011.

MENDONÇA, A. H.; RUSSO, C.; MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Edge effects in savanna fragments: a case study in the cerrado. **Plant Ecology & Diversity**, v. 8, n. 4, p. 493- 503, 2015.

MILLIGAN, J. R.; KREBS, R. A.; MAL, T. K. Separating developmental and environmental effect on fluctuating asymmetry in *Lythrum salicaria* and *Penthorum sedoides*. **International Journal of Plant Sciences**, v. 169, n. 5, p. 625-630, 2008.

OLIVEIRA, A. L. Ecologia de estrada: impactos de grandes rodovias e medidas de mitigação. **Monografia** (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de Lorena (USP), 106 p., 2020.

PRICE, P. W. Adaptive radiation of gall-inducing insects. **Basic and Applied Ecology**, v. 5, n. 6, p. 413-421, 2005.

PRICE, P. W.; BOUTON, C. E.; GROSS, P.; McPHERON, B. A. THOMPSON, J. N.; WEIS, A. E. Interactions Among Three Trophic Levels: Influence of Plants on Interactions Between Insect Herbivores and Natural Enemies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, n. 1, p. 41-65, 1980.

PRICE, P. W.; CLANCY, K. M. Interactions Among Three Trophic Levels: Gall size and Parasitoid Attack. **Ecology**, v. 67, n. 6, p. 1593-1600, 1986.

PRICE, P. W.; FERNANDES, G. W.; Waring, G. L. Adaptive nature of insect galls. **Environmental Entomology**, v. 16, n.1, p. 15-24, 1987.

RIES, L.; FLETCHER, R. J.; BATTIN, J.; SISK, T. D. Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 35, n. 1, p. 491-522, 2004.

SÁNCHEZ-BAYO, F.; WYCKHUYS, K. A. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. **Biological Conservation**, v. 232, p. 8-27, 2019.

SANTOS, L. R. Gradientes ambientais e efeito de borda não afetam aspectos Da história de vida e características funcionais de uma planta Neotropical. **Dissertação** (mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Instituto de Biologia da Universidade Federal de Uberlândia, 51 p., 2017.

THOMPSON, J. N. Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 47, n. 1, p. 3-14, 1988.

TROPICAL PLANTS DATABASE, 2020. *Erythroxylum suberosum*. Ken Fern. tropical.theferns.info. URL tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Erythroxylum+suberosum (acesso em 27 de junho de 2024).

URBAS, P.; MANOEL, V. A.; LEAL, I. R.; WIRTH, R. Cutting More from Cut Forests: Edge Effects on Foraging and Herbivory of Leaf-Cutting Ants in Brazil. **Biotropica**, v. 39, n. 4, p. 489-495, 2007.

URSO-GUIMARÃES, M. V.; KOCH, I.; CASTELLO, A. C. D. Diversity of insect galls from Mato Grosso State, Brazil: Cerrado. *Biota Neotropica*, v. 21, n. 3, 2021.

White, T. C. R. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. **Oecologia**, v. 63, p. 90-105, 1984.

YAMAZAKI, K. Gone with the wind: trembling leaves may deter herbivory. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 104, p. 738-747, 2011.