



ASSIMETRIA FOLIAR COMO RESPOSTA À INFESTAÇÃO POR GALHAS

Hamanda B. Cavalheri, Alessandra S. Lima, Daniela Zanelato, Gustavo de Oliveira & Paula Condé

INTRODUÇÃO

Estresse é um desvio das condições ótimas de desenvolvimento que induz modificações e respostas, reversíveis ou permanentes, em todos os níveis do organismo (Larcher, 2006). As plantas estão sujeitas a múltiplos fatores que podem causar estresse, como deficiência nutricional, temperatura, poluição e radiação (Larcher, 2006). Estes fatores bióticos e abióticos podem causar assimetria flutuante, que é uma instabilidade no desenvolvimento e ontogenia que causa variações não direcionais da simetria (Cornelissen & Stiling, 2005). Uma característica da planta que pode ser mensurada para avaliar o nível de estresse é a assimetria flutuante das folhas (Cornelissen & Stiling, 2005).

Folhas são em geral simétricas, o que exige uma regulação ontogenética. Porém, fatores externos podem causar assimetria foliar de duas maneiras, direcional ou não. A assimetria direcional pode ocorrer devido a indutores diretos de crescimento ou atrofia de um dos lados da folha. Insetos galhadores, por exemplo, têm potencial para induzir o aumento da área foliar em que estão presentes, já que aumentam o fluxo de assimilados para a folha ocupada (Prado & Vieira, 1999). Por outro lado, os galhadores podem absorver parte dos assimilados da folha, e o dano causado pela sua presença pode inibir o crescimento da folha (Schoonhoven *et al.*, 2005). Assim, é possível que a área ocupada pela galha tenha seu crescimento atrofiado em relação às áreas não ocupadas. Estes fatores afetam diretamente o crescimento de um dos lados da folha, ao contrário de fatores de estresse que afetam a regulação ontogenética da simetria.

Dado que a assimetria foliar pode ser causada pela presença de parasitas (Moller & Shykoff, 1999) e que muitas espécies de plantas são infestadas por galhas, é possível levantar a seguinte questão: a assimetria foliar está associada à densidade de galhadores? Propusemos a seguinte hipótese: a assimetria foliar aumenta com a densidade total de galhas na folha. Se essa hipótese for corroborada, é possível testar outras duas

hipóteses: a hipótese da indução, para a qual esperamos que a área foliar com mais galhadores seja maior que a do lado com menos galhadores; e a hipótese da inibição, para a qual esperamos que a área da folha com mais galhadores seja maior que a do lado com menos galhadores. Por fim, é possível que haja simetria não direcional.

MATERIAL & MÉTODOS

Para testar as hipóteses deste estudo utilizamos indivíduos de *Dalbergia ecastophyllum* (Fabaceae) que é uma planta arbustiva típica das vegetações de transição entre dunas e restinga (Souza & Capellari Jr., 2004), e que é frequentemente infestada por galhas. O estudo foi realizado na vegetação de restinga da praia do Guarauzinho, Estação Ecológica de Juréia-Itatins (24°32'S; 47°15'W). Amostramos 53 ramos de *D. ecastophilum*, distantes 3 m um do outro, ao longo de um transecto de aproximadamente 160 m. Em cada ramo sorteamos uma folha com galha.

Medimos o comprimento da folha (C = distância da inserção do pecíolo até o ápice) e as larguras (distância da nervura central até a margem da folha) do lado com mais galhas ($L1$) e do lado com menos galhas ($L2$). Calculamos então a área foliar de cada uma dos lados da folha através das equações: $A1 = [(L1 \times (C/2) \times \delta) / 2]$ e $A2 = [(L2 \times (C/2) \times \delta) / 2]$. Calculamos um índice de assimetria foliar como a diferença entre $A1$ e $A2$. Índices negativos indicam que a área do lado com mais galhas é menor que a área do lado com menos galhas.

Contamos o número de galhas em cada um dos lados da folha ($n1$ e $n2$). Obtivemos a densidade de galhas de cada lado da folha calculando o número de galhas dividido pela respectiva área foliar ($D1 = n1/A1$ e $D2 = n2 / A2$). Em seguida, computamos o índice de assimetria de infestação de cada folha como a diferença entre $D2$ e $D1$, sendo $D2$ o maior valor e $D1$ o menor. Mensuramos também a densidade total de galhas em cada folha, calculando

o número total de galhas ($n1 + n2$) dividido pela área foliar total ($A1 + A2$).

Para investigar a hipótese de que a assimetria foliar aumenta com a densidade de galhas, fizemos uma regressão entre o módulo do índice de assimetria foliar e a densidade total de galhas. Esperávamos que o índice de assimetria aumentasse com o aumento da densidade total de galhas. Para investigar as hipóteses de indução e da inibição do crescimento das folhas fizemos uma regressão entre o índice de infestação e o índice de assimetria. A hipótese de indução seria corroborada se houvesse uma relação positiva entre valores positivos de índice de assimetria e o índice de infestação. Dessa forma, com o aumento da quantidade de galhas em um dos lados da folha este lado teria maior área foliar. Por outro lado, a hipótese da inibição seria corroborada se houvesse uma relação negativa entre valores negativos de índice de assimetria e o índice de infestação. Assim, com o aumento da quantidade de galhas em um dos lados da folha este lado teria uma menor área foliar.

RESULTADOS

A assimetria foliar aumentou com a densidade total de galhas, ainda que o coeficiente de determinação tenha sido relativamente baixo ($R^2 = 0,112$; $p = 0,015$; Figura 1). Mesmo retirando os dois pontos discrepantes da Figura 1, a relação entre assimetria foliar e densidade de galhas continuou positiva e significativa. Porém, o aumento da densidade de galhadores em um lado da folha não induziu aumento nem redução da área foliar no lado da folha com maior densidade de galhas (Figura 2). A ausência de relação entre o índice de infestação e a assimetria foliar é evidenciada pela distribuição dos pontos ao redor da linha que indica índice de assimetria igual a zero (Figura 2).

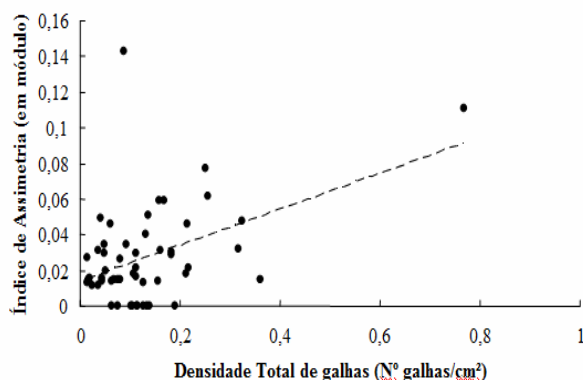


Figura 1. Índice de assimetria (área do lado da folha com mais galhas – área do lado da folha com menos galhas) em função da densidade total de galhas (número de galhas/ área total da folha). Linha tracejada representa o previsto pela regressão linear ($R^2 = 0,200$, $p < 0,001$).

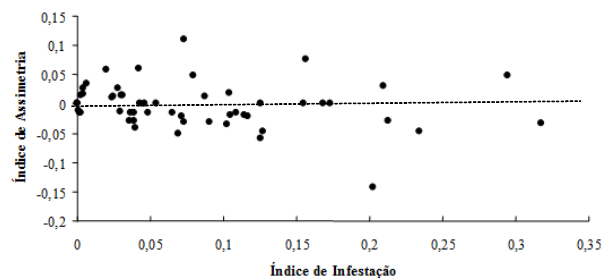


Figura 2. Índice de assimetria em função do índice de infestação (densidade de galhas do lado da folha com mais galhas – área do lado da folha com menos galhas). Linha tracejada representa o esperado caso o índice de infestação não tenha relação com a assimetria foliar. A regressão linear simples não foi significativa ($R^2 = 0,046$, $p = 0,121$).

DISCUSSÃO

A primeira hipótese de que a assimetria foliar em *D. ecastophyllum* aumenta com a densidade de galhas foi corroborada. Nenhuma das outras duas hipóteses concorrentes, no entanto, explica o padrão de assimetria foliar. Portanto, o aumento da quantidade de parasitas infestando a folha pode ter causado uma instabilidade no desenvolvimento e ontogenia da folha o que explica um aumento de assimetria flutuante encontrada nas folhas galhadas de *D. ecastophyllum*. Dessa forma, os galhadores tornariam as folhas mais estressadas, que por sua vez estariam mais propensas ao ataque de herbívoros, já que seriam mais nutritivas e menos protegidas quimicamente (Prado & Vieira, 1999). Assim, folhas mais assimétricas seriam mais vulneráveis e poderiam ser preferencialmente atacadas pelos galhadores. Dessa forma os galhadores não causariam assimetria foliar, mas potencializariam a assimetria foliar. Uma forma de avaliar se folhas mais assimétricas podem ser preferencialmente atacadas por galhadores é acompanhar temporalmente a frequência de ataque de galhas em folhas com diferentes graus de assimetria.

Outra possível explicação para que a assimetria não seja direcional é que na folha podem existir partes preferencialmente atacadas pelos parasitas, tal como a nervura principal e as nervuras secundárias (Cassano *et al.*, 2009). Isso ocorre uma vez que a distribuição dos nutrientes na folha não é homogênea, e o maior fluxo de seiva na folha ocorre na nervura principal e nas nervuras secundárias (Prado & Vieira, 1999). Como as galhas podem ocorrer preferencialmente nas nervuras principal e secundária em *D. ecastophyllum* (Cassano *et al.*, 2009), é possível que consumam parte dos recursos que chegam à folha, prejudicando o desenvolvimento foliar como um todo.

REFERÊNCIAS

- Cassano, C.R.; M.T. Cerezin; R.S. Bovendorp & A.P. Aguiar. 2009. Seleção de locais de oviposição por insetos galhadores em folhas de marmeleiro *Dalbergia ecastophyllum* (Fabaceae). Em: *Livro do curso de campo "Ecologia da Mata Atlântica"* (G. Machado; P.I.K.L. Prado & A.A. Oliveira, eds.). USP, São Paulo.
- Cornelissen, T. & P. Stiling. 2005. Perfect is best: low leaf fluctuating asymmetry reduces herbivory by leaf miners. *Oecologia*, 142:46-56.
- Larcher, W. 2006. *Ecofisiologia vegetal*. Editora Rima, São Carlos.
- Moller, A.P. 1995. Leaf-mining insects and fluctuating asymmetry in *Ulmus glabra* leaves. *Journal of Animal Ecology*, 64:697-707.
- Moller, A.P. & J.A. Shykoff. 1999. Morphological developmental stability in plants: patterns and causes. *International Journal of Plant Sciences*, 160:135-146.
- Prado, P.I.K.L & E.M. Viera, 1999. The interplay between plant traits and herbivore attack: a study of a stem galling midge in the neotropics. *Ecological Entomology*, 24:80-82.
- Schoonhoven, L.M.; J.J.A. van Loon & M. Dicke. 2005. *Insect-plant biology*. Oxford University Press, Oxford.
- Strauss, Y.S. & A.R. Zangerl. 2002. Plant-insect interactions in terrestrial ecosystems, pp. 77-106. Em: *Plant-animal interactions: an evolutionary approach* (M.C. Herrera & O. Pellmyr, eds.). Blackwell Science, Oxford.

Orientação: Marcelo N. Rossi & Glauco Machado