Avaliação morfométrica de flores, frutos e sementes de espécies vegetais da família Myrtaceae em ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular

Lucilene de Brito[1], Leandra A. de Paula Souza[2], Paulo A. Silva[1], Antonio Fluminhan[2]

[1]Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente - SP, Brasil
[2]Universidade Estadual Paulista – FCAV-UNESP, Jaboticabal - SP, Brasil
(Email: antoniofluminhan@gmail.com)

Resumo: O presente estudo analisa as variações na morfometria de flores, frutos e sementes de espécies arbóreas da família Myrtaceae cultivadas em ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular. A pesquisa busca compreender como a poluição por gases de combustão veicular interfere no desenvolvimento reprodutivo das plantas, podendo afetar o tamanho, a forma e a estrutura destes órgãos. Os resultados observados contribuem para a avaliação dos impactos em áreas urbanas e a variação existentes em espécies vegetais bioindicadoras da qualidade ambiental.

Palavras-chave: Poluição veicular; Myrtaceae; Morfometria; Flores; Frutos; Sementes

INTRODUÇÃO

As espécies arbóreas respondem de forma diferenciada às variações ambientais, sendo necessário compreender como essas mudanças podem afetar suas características morfológicas, fenológicas e produtivas (LAVOREL; GARNIER, 2002; CHAPIN, 2003; DIAZ et al., 2004; KERKHOFF et al., 2005; BRITO et al., 2019). Nesse contexto, os ambientes urbanos constituem importantes modelos para avaliar como os ecossistemas respondem às alterações atmosféricas (WEATHERS et al., 2015), uma vez que concentram elevadas quantidades de compostos químicos na atmosfera, principalmente poluentes provenientes do tráfego de veículos (BOTKIN; KELLER, 2011).

Entre os principais poluentes liberados pela combustão veicular destacam-se o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), material particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NOx) e óxidos de enxofre (SOx) (PEREIRA et al., 2017). Esses compostos podem atingir níveis elevados de concentração na atmosfera urbana (ADLER; TANNER, 2015; KUMAR et al., 2015), especialmente em locais com grande presença de superfícies impermeáveis, como asfaltos, calçadas, edificações e vias estreitas (CHEN et al., 2006; COSTA et al., 2010; FERREIRA; OLIVEIRA, 2016). Nessas condições, ocorre maior acúmulo de poluentes atmosféricos, contribuindo para alterações na qualidade do ar e para o aumento da acidez atmosférica (BRENA, 2009).

Essas alterações ambientais podem provocar mudanças ecológicas significativas nos ecossistemas urbanos, afetando tanto populações animais quanto vegetais (CAROLE; JAMES, 1996; KLINGENBERG, 2013; JOSHI; SWAMI, 2007; SYED et al., 2008; SOVÓIA et al., 2009; BRITO et al., 2019). Árvores localizadas em ruas e avenidas encontram-se diretamente expostas aos poluentes emitidos pelos veículos, o que pode resultar em alterações morfológicas, fisiológicas e reprodutivas. Entre essas alterações, destacam-se mudanças na simetria foliar (BRITO et al., 2019), variações no tamanho dos botões florais, incluindo sépalas, pétalas, estames e carpelos, além de modificações no tamanho dos frutos (JOSHI; SWAMI, 2007; SYED et al., 2008). Além disso, a poluição atmosférica pode influenciar os ciclos reprodutivos das plantas, provocando mudanças no período de florescimento e na duração da floração (NEIL; WU, 2006).

Tais alterações podem afetar negativamente as interações ecológicas entre flores e polinizadores (SUN et al., 2014), além de reduzir a disponibilidade de recursos florais e frutíferos (BELL et al., 2011). Como consequência, podem ocorrer impactos nas interações tróficas, uma vez que a diminuição de recursos alimentares tende a intensificar a competição intraespecífica e interespecífica entre os consumidores (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007). Em longo prazo, essas modificações podem comprometer a persistência da biodiversidade, tanto em ambientes naturais quanto em áreas antropizadas (CHAPIN et al., 2000; PIMM et al., 1995; 2014; ALVEY, 2006).

Dessa forma, os ambientes urbanos podem ser considerados laboratórios naturais para a investigação dos efeitos da poluição atmosférica, especialmente aquela associada ao tráfego veicular. Nesse contexto, o uso de plantas como ferramentas de biomonitoramento torna-se uma estratégia importante para avaliar a qualidade ambiental. O biomonitoramento com o emprego de espécies vegetais possibilita respostas rápidas sobre os efeitos da poluição nos sistemas biológicos (PICKETT et al., 2001; LIMA et al., 2001), permitindo identificar a sensibilidade ou tolerância das espécies vegetais aos poluentes atmosféricos.

Entre as espécies vegetais utilizadas nesse tipo de análise, destacam-se aquelas pertencentes à família Myrtaceae, frequentemente consideradas sensíveis à poluição atmosférica, especialmente em ambientes urbanos (PINTO; PONZONI, 2000; SILVA et al., 2005; ALVES et al., 2008; SOVÓIA et al., 2009; PEREIRA et al., 2017; SPÓSITO et al., 2015; BRITO et al., 2019). Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar os efeitos dos gases emitidos por veículos sobre a morfometria de flores, frutos e sementes de espécies da família Myrtaceae, contribuindo para a compreensão das respostas dessas plantas em ambientes urbanos ecologicamente alterados.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Rancharia, localizado na região sudoeste do estado de São Paulo (22º13’23” S e 50º53’35” W). A área urbana do município possui aproximadamente 10,90 km², altitude média de 355 m e índice pluviométrico anual médio de 1.280,40 mm (IBGE, 2010). A região apresenta fitofisionomias de Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual da Mata Atlântica, além de arborização urbana composta por diferentes famílias botânicas, com destaque para Fabaceae, Myrtaceae, Arecaceae, Bignoniaceae, Malvaceae, Euphorbiaceae e Apocynaceae (BRITO et al., 2015).

Para a realização da pesquisa, a área urbana foi dividida em dois gradientes ambientais, definidos de acordo com o fluxo de veículos automotores: áreas centrais, com maior circulação de veículos, e áreas periféricas, com menor intensidade de tráfego. A definição desses gradientes foi baseada em protocolo adaptado de Adler e Tanner (2015). A estimativa da emissão de poluentes foi realizada de forma indireta, por meio da contagem do fluxo veicular. Em cada ambiente foram estabelecidos seis pontos de amostragem, com distância entre 100 e 200 m entre si. As observações foram realizadas durante 20 minutos, em três períodos de maior circulação: 07h00 às 08h30, 11h00 às 12h30 e 17h00 às 18h30. A média de veículos no ambiente de alto fluxo foi de 215,00 ± 121,03, enquanto no ambiente de baixo fluxo foi de 103,89 ± 41,88, com diferença estatisticamente significativa entre as condições ambientais (teste t de Student: $t_{106} = 6{,}375$; $p < 0{,}0001$).

As espécies analisadas foram selecionadas com base no Inventário de Arborização Urbana de Rancharia-SP (BRITO et al., 2015), priorizando representantes da família Myrtaceae presentes em ruas, avenidas e áreas de interesse urbano. Foram avaliadas as espécies *Psidium guajava* (nome popular: goiabeira) *Eugenia uniflora* (nome popular: pitangueira) e *Plinia cauliflora* (nome popular: jabuticabeira). No total, foram selecionados 32 indivíduos arbóreos na área urbana, distribuídos entre os ambientes de alto e baixo fluxo veicular. Também foi estabelecida uma área controle em ambiente rural, localizada a aproximadamente 7,5 km da área urbana, sem tráfego veicular, onde foram avaliados 16 indivíduos.

Para a análise da morfometria floral, foram coletadas cinco flores por indivíduo em cada ambiente avaliado. Foram registrados o número de pétalas e estames, além das medidas de comprimento e largura das pétalas, comprimento de estames e anteras, comprimento do estigma e diâmetro do cálice. As medições foram realizadas com paquímetro digital, utilizando apenas flores recém-abertas, identificadas pela coloração intensa das pétalas e anteras.

A análise morfométrica de frutos e sementes foi realizada a partir de frutos maduros, sem sinais de pragas, doenças ou predação. Em cada indivíduo foram selecionados cinco frutos para mensuração do comprimento e diâmetro, além da contagem do número de sementes. Para *P. guajava*, foram selecionadas cinco sementes por fruto, enquanto para *E. uniflora* e *P. cauliflora* foi considerado o número total de sementes por fruto.

Para os testes de germinação, foram utilizadas sementes em bom estado de conservação, sem danos ou sinais de predação. As sementes foram lavadas em água corrente para remoção da mucilagem e secas em temperatura ambiente no Laboratório de Citogenômica e Bioinformática da Universidade do Oeste Paulista (Unoeste). Posteriormente, foram semeadas em bandejas plásticas com substrato comercial e mantidas em casa de vegetação. Foram consideradas germinadas apenas as plântulas que apresentaram emissão da raiz primária com comprimento superior a 2 mm.

Os dados foram agrupados por espécie vegetal e por ambiente. Inicialmente, a normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (ZAR, 1999). Em seguida, os dados foram analisados por

delineamento fatorial 3 × 3, considerando espécies e ambientes, por meio de análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey para comparação de médias. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software Systat versão 10.2, adotando nível de significância de $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Morfometria floral

O número de pétalas das três espécies avaliadas não apresentou variação significativa entre os ambientes de alto e baixo fluxo de veículos quando comparado com as plantas localizadas em área sem circulação veicular (ANOVA fatorial; $p > 0,05$; Figura 1). Esse resultado indica que, embora outras estruturas florais tenham apresentado alterações, a quantidade de pétalas não foi influenciada significativamente pelos diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular.

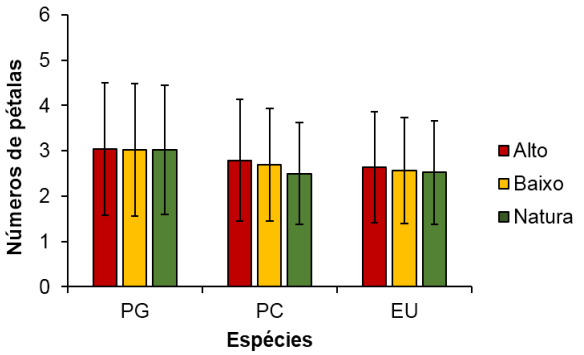

Figura 1 – Número de pétalas das três espécies analisadas nos ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular (PG = *Psidium guajava* , PC = *Plinia cauliflora* e EU = *Eugenia uniflora*).

Foram observadas variações significativas no comprimento e na largura das pétalas da espécie *Psidium guajava* de acordo com os ambientes analisados ($F_{2,905} = 3,563$; $p = 0,029$; Figura 2). O comprimento das pétalas foi menor nos ambientes com alto e baixo fluxo de veículos quando comparado às plantas do ambiente natural (Tukey; $p < 0,05$). Em contrapartida, a largura das pétalas foi maior no ambiente de alta intensidade de tráfego em relação aos ambientes de baixo fluxo e área natural.

De forma semelhante, o comprimento e a largura das pétalas de *Eugenia uniflora* também variaram entre os ambientes analisados ($F_{2,754} = 13,284$; $p < 0,0001$; Figura 2). Nessa espécie, a largura das pétalas das plantas localizadas em ambiente urbano foi maior em comparação com aquelas provenientes das áreas sem circulação de veículos. Para *Plinia cauliflora*, também foram observadas diferenças significativas nas dimensões das pétalas ($F_{2,532} = 121,910$; $p < 0,0001$; Figura 2), sendo que o comprimento e a largura foram menores em ambientes com circulação veicular quando comparados ao ambiente natural.

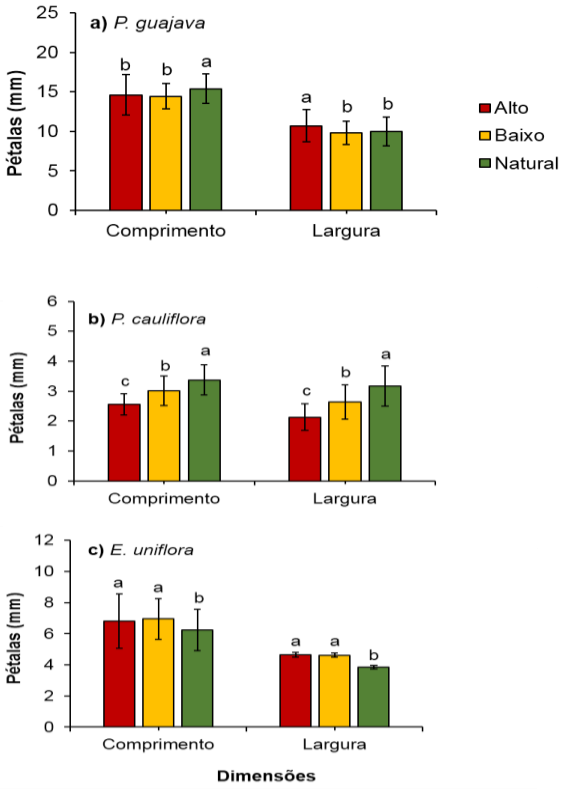

Figura 2 – Dimensões das pétalas florais (comprimento e largura) da espécie Eugenia uniflora, nos ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças significativas entre as médias (Tukey; $p < 0,05$).

As espécies *Psidium guajava* e *Eugenia uniflora* apresentaram variações significativas no comprimento dos estames em função dos ambientes analisados (respectivamente: $F_{2,3237} = 166,58$; $p < 0,0001$; e $F_{2,3237} = 187,016$; $p < 0,0001$; Figura 3). Em ambas as espécies, os estames apresentaram maior comprimento nos ambientes com alta e baixa circulação de veículos quando comparados com indivíduos da mesma espécie em ambiente natural. Além disso, os estames foram maiores em ambientes de alta circulação veicular em comparação aos ambientes de baixa circulação.

Para *Plinia cauliflora*, não foram observadas variações significativas no comprimento dos estames entre os ambientes analisados ($F_{2,21,57} = 1,210$; $p = 0,326$; Figura 3). Em relação ao comprimento das anteras, foram observadas diferenças significativas entre os ambientes para as três espécies estudadas (*P. guajava*: $F_{2,32,37} = 9,831$; $p < 0,0001$; *E. uniflora*: $F_{2,21,57} = 5,049$; $p < 0,006$; *P. cauliflora:* $F_{2,32,37} = 11,863$; $p < 0,0001$; Figura 3).

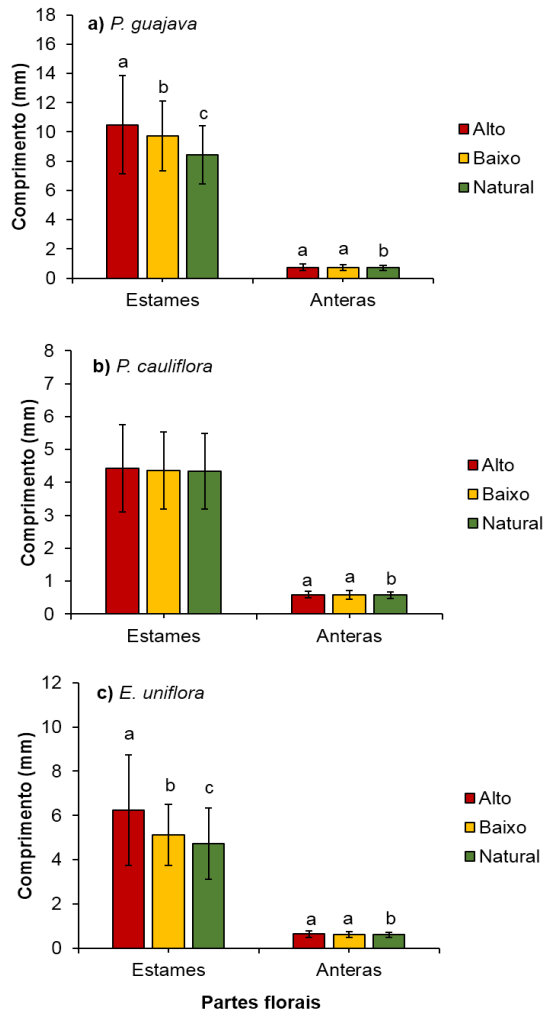

Figura 3 – Comprimento dos estames e anteras das espécies estudadas nos ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças significativas entre as médias (Tukey; p < 0,05).

De modo geral, o comprimento das anteras foi maior nos ambientes com circulação de veículos em comparação ao ambiente natural.

O número de estames nas flores de *Psidium guajava* apresentou variações significativas entre os ambientes analisados ($F_{2,87} = 13,974$; $p < 0,0001$; Figura 4).

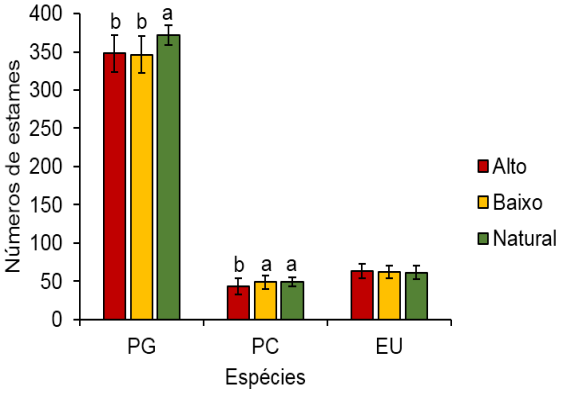

Figura 4 – Número de estames nas flores das espécies analisadas de acordo com os ambientes. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças significativas entre as médias.

A quantidade de estames foi menor nas flores provenientes de plantas localizadas em ambientes com alto e baixo fluxo de veículos quando comparadas às flores de indivíduos presentes em ambiente natural. Para *Eugenia uniflora*, não foram observadas diferenças significativas no número de estames entre os ambientes ($F_{2,87} = 0,755$; $p = 0,473$; Figura 4). Já a *Plinia cauliflora* apresentou menor número de estames em flores provenientes de ambientes com alto fluxo de veículos quando comparadas às flores de ambientes com baixa circulação e área natural.

O comprimento do estigma de *Psidium guajava* apresentou variação significativa entre os ambientes analisados ($F_{2,87} = 32,822$; $p < 0,0001$; Figura 5). Os estigmas foram menores nas flores de plantas localizadas em ambientes com alto e baixo fluxo de veículos quando comparados aos indivíduos do ambiente natural.

Também foram observadas variações no comprimento do estigma para *Eugenia uniflora* ($F_{2,87} = 11,981$; $p < 0,0001$) e *Plinia cauliflora* ($F_{2,57} = 7,101$; $p < 0,0002$). Nessas espécies, os indivíduos localizados em ambientes urbanos apresentaram estigmas maiores quando comparados às plantas da área natural. O diâmetro do cálice de *Psidium guajava* também variou significativamente entre os ambientes ($F_{2,87} = 5,81$; $p < 0,004$; Figura 5), sendo menor nos ambientes com

fluxo de veículos. Para as demais espécies analisadas, não foram observadas variações significativas no diâmetro do cálice entre os ambientes.

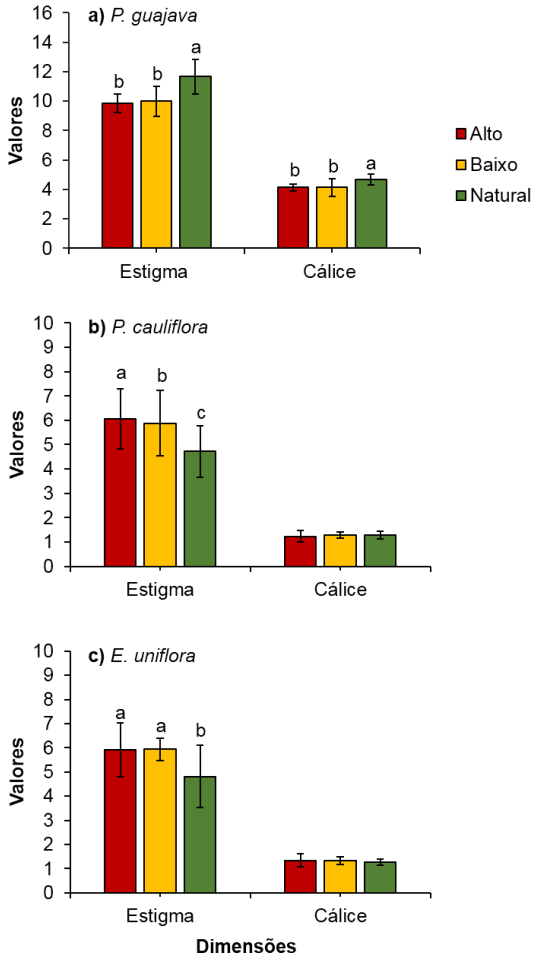

Figura 5 – Comprimento do estigma e diâmetro do cálice das espécies avaliadas nos ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças significativas entre as médias (Tukey; p < 0,05).

Os resultados indicam que plantas localizadas em áreas urbanas com alta e baixa circulação de veículos apresentam alterações na morfometria floral, sugerindo que a poluição atmosférica pode afetar o desenvolvimento das estruturas reprodutivas.As variações observadas no tamanho e na quantidade das estruturas que compõem o botão floral nos ambientes urbanos podem representar respostas das plantas às condições ambientais associadas à poluição do ar.

Resultados semelhantes foram descritos por Syed et al. (2008), que demonstraram que os órgãos reprodutivos das plantas podem ser afetados pela poluição atmosférica, incluindo redução no tamanho de sépalas, pétalas, estames e carpelos.

Na espécie *Psidium guajava*, a redução no comprimento das pétalas, no número de estames, no comprimento do estigma e no diâmetro do cálice pode indicar sensibilidade dessa espécie aos poluentes atmosféricos. Já a espécie *Plinia cauliflora* apresentou menor variação morfológica das estruturas florais, com alterações restritas principalmente às pétalas e ao número de estames. Em contraste, *Eugenia uniflora* apresentou aumento em diversas estruturas florais nos ambientes urbanos, como pétalas, estames, anteras e estigma, sugerindo possível estratégia adaptativa diante de condições ambientais adversas.

Mudanças morfológicas, mesmo sutis, podem apresentar grande relevância biológica (KLINGENBERG, 2013). A redução no tamanho de órgãos reprodutivos em ambientes poluídos pode comprometer o sucesso reprodutivo das plantas, uma vez que alterações nas estruturas florais podem interferir nas interações entre flores e polinizadores (BELL et al., 2011; SUN et al., 2014).

Por outro lado, o aumento de determinadas estruturas pode favorecer a atração de agentes polinizadores, como insetos e outros organismos nectarívoros, que utilizam pétalas e estames como plataformas de pouso ou como guias para localização do néctar (DEL-CLARO; SILINGARDI, 2012).

Morfometria de frutos e sementes

Foram observadas variações significativas no tamanho dos frutos das três espécies avaliadas entre os ambientes analisados *(Psidium guajava*: $F_{2,177} = 33{,}463$; $p < 0{,}0001$; *Eugenia uniflora*: $F_{2,177} = 3{,}042$; $p < 0{,}050$; *Plinia cauliflora*: $F_{2,177} = 11{,}369$; $p < 0{,}0001$; Figura 6).

O comprimento e a largura dos frutos das plantas localizadas em ambientes com alta e baixa circulação de veículos foram menores para as espécies *P. guajava* e *P. cauliflora* quando comparados aos frutos das plantas do ambiente natural. Para a espécie E. *uniflora*, também foi observado menor comprimento dos frutos em ambientes urbanos, embora a largura dos frutos tenha sido maior nesses ambientes quando comparada aos frutos provenientes de áreas naturais

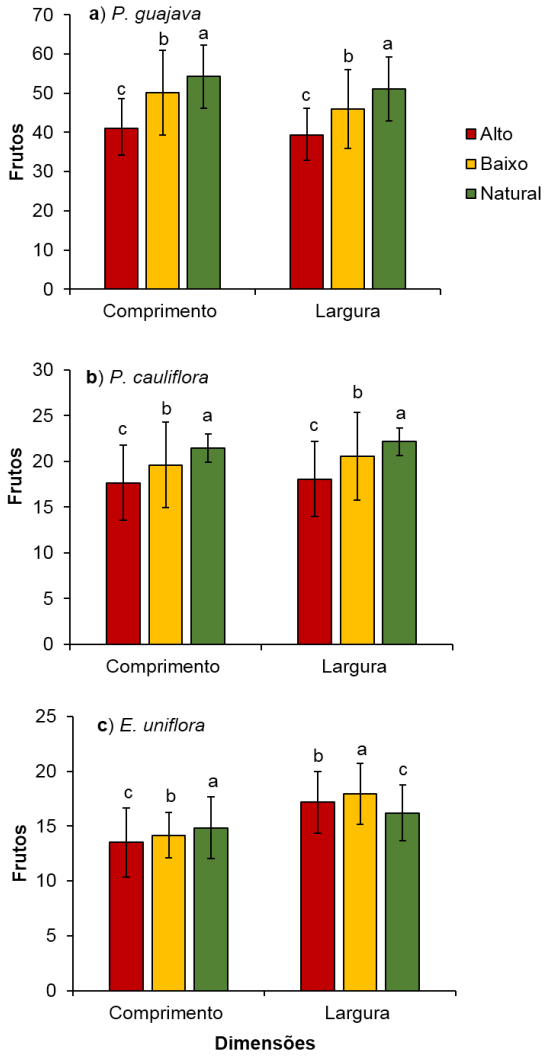

Figura 6 – Morfometria dos frutos das três espécies vegetais em ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças significativas entre as médias (Tukey; p < 0,05).

Foi observados que o número de sementes por fruto também variou de acordo com os ambientes com diferentes níveis de tráfego veicular para as espécies *Psidium guajava* ($F_{2,87} = 38,47$; $p < 0,0001$) e *Plinia cauliflora* ($F_{2,57} = 6,929$; $p < 0,002$; Figura 7). Nessas espécies, os frutos provenientes de ambientes urbanos apresentaram menor número de sementes quando comparados aos frutos do ambiente natural. Por outro lado, em *Eugenia uniflora*, o número de sementes foi maior nos ambientes urbanos, especialmente em áreas com maior intensidade de tráfego veicular.

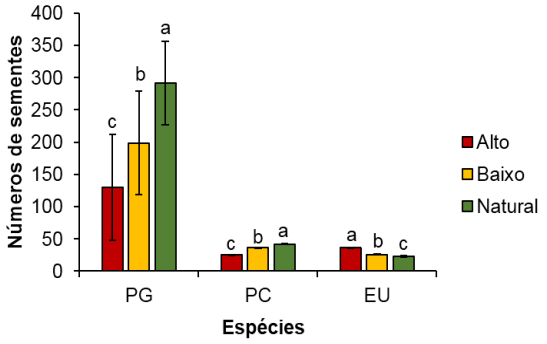

Figura 7 – Número de sementes das espécies avaliadas em ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças significativas entre as médias (Tukey; p < 0,05).

O comprimento e a largura das sementes das três espécies apresentaram variações significativas entre os ambientes (*Psidium guajava*: $F_{2,897} = 3,701$; $p < 0,025$; *Eugenia uniflora*: $F_{6,1687} = 0,673$; $p < 0,0001$; *Plinia cauliflora*: $F_{2,1177} = 6,618$; $p < 0,002$; Figura 8). Em geral, sementes provenientes de plantas localizadas em ambientes urbanos apresentaram menores dimensões quando comparadas às sementes das plantas presentes em ambiente natural.

Os resultados obtidos indicam que a poluição atmosférica pode influenciar significativamente a morfometria dos frutos e das sementes, bem como a quantidade de sementes produzidas. Análises biométricas de frutos e sementes constituem importantes ferramentas para avaliar variações fenotípicas associadas a fatores ambientais (CARDOSO; LOMÔNACO, 2003).

No presente estudo, indivíduos das espécies *Psidium guajava* e *Plinia cauliflora* localizados em ambientes urbanos apresentaram frutos menores, além de sementes menores e em menor quantidade, especialmente em áreas com maior fluxo de veículos. Esses resultados corroboram os estudos de Joshi e Swami (2007), que demonstraram que a poluição atmosférica pode reduzir o tamanho dos frutos e, consequentemente, o tamanho e o número de sementes produzidas.

Alterações nos atributos dos frutos, como tamanho, odor e coloração, podem influenciar diretamente as interações entre plantas e frugívoros, uma vez que esses organismos tendem a selecionar frutos com maior qualidade nutricional (JORDANO, 1995). Dessa forma, mudanças nas características dos frutos podem afetar processos ecológicos importantes, como a dispersão de sementes.

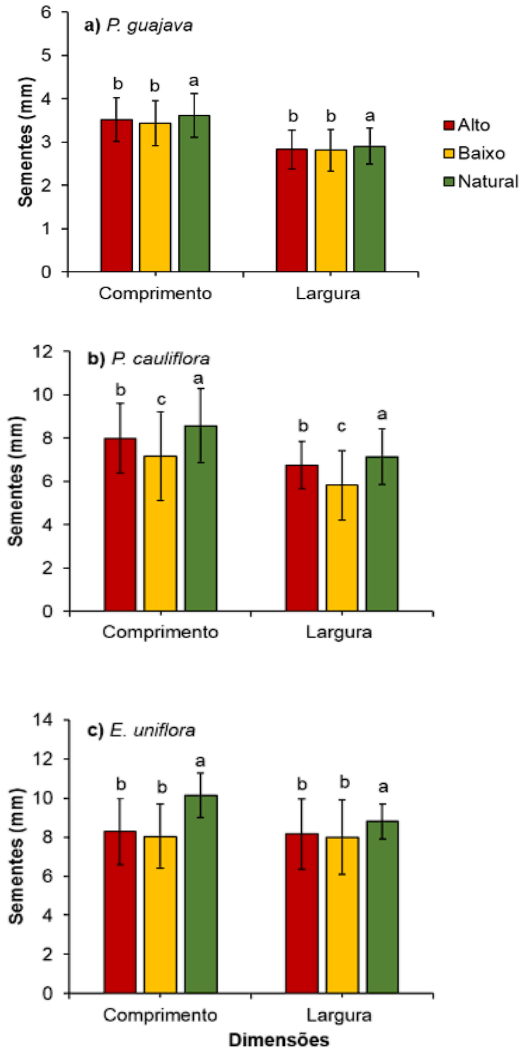

Figura 8 – Dimensões das sementes das espécies analisadas de acordo com os ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular.. Letras diferentes acima das barras indicam diferenças significativas entre as médias (Tukey; p

Entretanto, a espécie *Eugenia uniflora* apresentou padrão distinto, com frutos maiores e maior número de sementes em ambientes com alta e baixa circulação de veículos. Por outro lado, o tamanho das sementes foi menor em ambientes urbanos. Esse padrão pode indicar uma estratégia reprodutiva baseada no investimento em maior quantidade de sementes. De acordo com Bezerra et al. (2002), frutos maiores frequentemente estão associados a maior quantidade de sementes. Além disso, sementes maiores ou em maior número podem favorecer o desenvolvimento de embriões mais vigorosos, aumentando as chances de sobrevivência em ambientes sujeitos a estresse ambiental (WHITE; GONZÁLEZ, 1990).

Germinação de sementes e crescimento radicular

As taxas de germinação das sementes das três espécies não apresentaram diferenças significativas entre os ambientes avaliados (ANOVA fatorial; $p > 0,05$; Figura 9). Entretanto, o comprimento das raízes das plântulas variou significativamente entre os ambientes para todas as espécies analisadas (*Psidium guajava*: $F_{2,87} = 5,400$; $p < 0,006$; *Eugenia uniflora*: $F_{2,87} = 5,538$; $p < 0,005$; *Plinia cauliflora*: $F_{2,87} = 6,608$; $p < 0,002$; Figura 9).

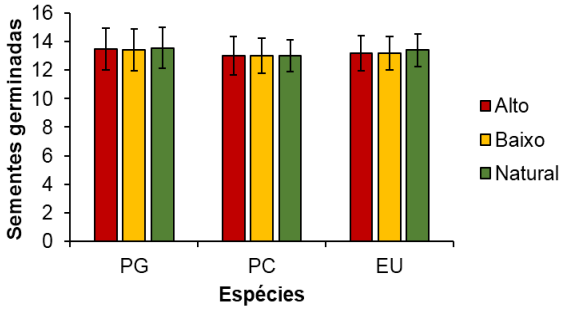

Figura 9 – Taxa de germinação de sementes das espécies analisadas em ambientes com diferentes níveis de exposição ao tráfego veicular.

De modo geral, as plântulas provenientes de ambientes com maior circulação de veículos apresentaram raízes mais curtas quando comparadas às plântulas provenientes de ambiente natural.

Para as três espécies de Myrtaceae analisadas, a taxa de germinação das sementes não apresentou diferenças significativas entre os ambientes urbanos e o ambiente natural. Esse resultado sugere que, apesar das alterações morfológicas observadas em frutos e sementes, o potencial de germinação não foi diretamente afetado pela exposição à poluição atmosférica.

O sucesso da germinação está frequentemente relacionado à disponibilidade de reservas nutricionais presentes nas sementes (HAIG; WESTOBY, 1991). Entretanto, embora a germinação não tenha sido afetada, observou-se redução significativa no comprimento das raízes das plântulas provenientes de sementes desenvolvidas em ambientes com maior fluxo de veículos. Resultados semelhantes foram relatados por Mazzoni-Viveiro e Trufem (2004), que observaram redução no comprimento das raízes de ***Tibouchina pulchra*** em áreas sujeitas à poluição atmosférica.

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), esse padrão pode estar associado à nutrição das sementes durante o desenvolvimento, especialmente quando as plantas-mãe estão expostas a ambientes poluídos. Assim, a redução no comprimento das raízes observada neste estudo pode indicar menor disponibilidade de recursos nutricionais durante o desenvolvimento das sementes em ambientes urbanos, o que pode comprometer o estabelecimento inicial das plântulas, já que o crescimento radicular é essencial para a absorção de água e nutrientes nas fases iniciais do desenvolvimento vegetal.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a poluição atmosférica proveniente dos gases veiculares influencia a morfometria de flores, frutos e sementes de espécies da família Myrtaceae. As espécies analisadas apresentaram respostas diferentes entre os ambientes urbanos e a área natural, demonstrando que a urbanização pode interferir no desenvolvimento das estruturas reprodutivas vegetais.

A hipótese do estudo foi confirmada, pois a maioria dos parâmetros avaliados apresentou alterações em áreas com circulação de veículos. Foram observadas mudanças nas estruturas florais, nos frutos, nas sementes e no crescimento radicular das plântulas, sugerindo efeitos negativos da exposição aos poluentes.

Embora a germinação não tenha sido significativamente afetada, a redução no comprimento das raízes indica possível prejuízo no desenvolvimento inicial das plantas. Assim, P*sidium guajava*, *Plinia cauliflora* e *Eugenia uniflora* apresentam potencial como bioindicadoras da qualidade ambiental urbana, reforçando a importância da vegetação no monitoramento e na redução dos impactos da poluição veicular.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Estradas e Rodagem (D.E.R) do Estado de São Paulo, aos gestores do Parque Ecológico de Rancharia – SP e aos pequenos produtores rurais que permitiram e entrada e estadia em suas propriedades para a realização desta pesquisa. Apoio financeiro: CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento e Pessoal do Ensino Superior, Ministério da Educação – Governo Federal do Brasil.

REFERÊNCIAS

ADLER, F. R. TANNER, C. J. Ecossistemas urbanos: princípios ecológicos para o ambiente construído. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

ALVES, E. S.; TRESMONDI, F.; LONGUI, E. L. Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, n. 1, p. 241-248, 2008. DOI: 10.1590/S0102-33062008000100023

ALVEY, A. A. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 5, n. 4, p. 195-201, 2006. DOI: 10.1016/j.ufug.2006.09.003.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. Ecologia: de indivíduos a ecossistemas. Porto Alegre: Artmed, 2007.

BELL, J. N. B.; HONOUR, S. L.; POWER, S. A. Effects of vehicle exhaust emissions on urban wild plant species. *Environmental Pollution*, v. 159, n. 8-9, p. 1984-1990, 2011. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.03.006.

BEZERRA, A.M.E. et al. Germinação e desenvolvimento de plântulas de copaíba em função do tamanho e da imersão da semente em ácido sulfúrico. *Revista Ciência Agronômica*, v.33, n.2, p.5-12, 2002. **https://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/91327?articlesBySameAuthorPage=27**

BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. Ciência ambiental: terra, um planeta vivo. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BRENA, N. A. A chuva ácida e os seus efeitos sobre as florestas. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: [s.n.], 2009.

BRITO, L.; OLIVEIRA, L. W.; HOSSOMI, S. T. Espécies exóticas na arborização viária do município de Rancharia - SP. *Cidades Verdes*, v. 3, n. 6, p. 69-74, 2015. DOI: 10.17271/23178604362015966.

BRITO, L.; SILVA, P. A.; FLUMINHAN, A. Alterações foliares sugerem efeitos da poluição veicular em plantas da família Myrtaceae em áreas urbanas. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 10, n. 1, p. 223-231, 2019. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0018.

CAROLE, L. Y.; JAMES, S. Q. Multilocus DNA fingerprinting reveals high rate of heritable genetic mutation in herring gulls nesting in an industrialized

urban site. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 93, n. 22, p. 12137-12141, 1996. DOI: 10.1073/pnas.93.22.12137.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. https://doi.org/10.22533/at.ed.976190309

CARDOSO, G. L.; LOMÔNACO, C. Variações fenotípicas e potencial plástico de *Eugenia calycina* Cambess. (Myrtaceae) em uma área de transição cerrado-vereda. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 26, n. 1, p. 131-140, 2003. DOI: 10.1590/S0100-84042003000100014.

CHAPIN, F. S. et al. Consequences of changing biodiversity. *Nature*, v. 405, n. 6783, p. 234-242, 2000. DOI: 10.1038/35012241.

CHAPIN, F. S. Effects of plant traits on ecosystem and regional processes: a conceptual framework for predicting the consequences of global change. *Annals of Botany*, v. 91, n. 4, p. 455-463, 2003. https://doi.org/10.1093/aob/mcg041

CHEN, X. L. et al. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, v. 104, n. 2, p. 133-146, 2006. DOI: 10.1016/j.rse.2005.11.016.

COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 5, p. 974-985, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000500019

DEL-CLARO, K.; SILINGARDI, H. M. T. *Ecologia das interações plantas-animais: uma abordagem ecológico-evolutiva*. Rio de Janeiro: Technical Books, 2012.**https://www.researchgate.net/publication/284443063_Ecologia_das_Interacoes_Plantas-Animais_uma_abordagem_ecologico_evolutiva**

DIAZ, S. et al. The plant traits that drive ecosystems: evidence from three continents. *Journal of Vegetation Science*, v.15, p.295-304, 2004. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02266.x

FERREIRA, C. C. M.; OLIVEIRA, D. E. Estimativa da poluição veicular e qualidade do ar nas principais vias do sistema viário da região central da cidade de Juiz de Fora - MG. *Revista do Departamento de Geografia*, v.esp., p.98-114, 2016. https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.117682

HAIG, D.; WESTOBY, M. Seed size, pollination costs and angiosperm success. *Evolutionary Ecology*, v.5, p.231-247, 1991. https://doi.org/10.1007/BF02214230

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Dados geográficos do município de Rancharia. 2010. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/rancharia/pesquisa/23/22106?tipo=grafico. Acesso em: 25 out. 2016.

JORDANO, P. Frugivore-mediated selection on fruit and seed size: birds and *St. Lucie's cherry, Prunus mahaleb*. *Ecology*, v. 76, n. 8, p. 2627-2639, 1995. https://doi.org/10.2307/2265833

JOSHI, P. C. A.; SWAMI, A. Physiological responses of some tree species under roadside automobile pollution stress around city of Haridwar, India. *Environmentalist*, v. 27, p. 365-374, 2007. https://doi.org/10.1007/s10669-007-9049-0

KERKHOFF, A. J. et al. Plant allometry, stoichiometry and the temperature-dependence of primary productivity. *Global Ecology and Biogeography*, v. 14, p. 585-598, 2005. **https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00187.x**

KLINGENBERG, C. P. Visualizations in geometric morphometrics: how to read and how to make graphs showing shape changes. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, p. 15-24, 2013. **https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-7691**

LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits. *Functional Ecology*, v. 16, p. 545-556, 2002. **https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x**

LIMA, J. S. et al. Processos biológicos e o biomonitoramento: aspectos bioquímicos e morfológicos. In: INDICADORES AMBIENTAIS: CONCEITOS E APLICAÇÕES. São Paulo: EDUC, p. 95-115. 2001.

MAZZONI-VIVEIRO, S.; TRUFEM, S. F. B. Efeitos da poluição aérea e edáfica no sistema radicular de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) em área de Mata Atlântica: associações micorrízicas e morfologia. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 27, n. 2, p. 337-348, 2004. **https://doi.org/10.1590/S0100-84042004000200013**

NEIL, K.; WU, J. Effects of urbanization on flowering phenology: a review. *Urban Ecosystems*, v. 9, p. 243-257, 2006. **https://doi.org/10.1007/s11252-006-9354-2**

PEREIRA, B. B. et al. Integrated monitoring for environmental health impact assessment related to the genotoxic effects of vehicular pollution in Uberlândia, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, p. 2572-2577, 2017. https://doi.org/10.1007/s11356-016-8039-5

PICKETT, S. T. A. et al. Urban ecosystems: ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 32, p. 127-157, 2001. **https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114012**

PIMM, S. et al. The future of biodiversity. *Science*, v. 269, n. 5222, p. 347-350, 1995. https://doi.org/10.1126/science.269.5222.347

PIMM, S. et al. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, v. 344, n. 6187, 2014. https://doi.org/10.1126/science.269.5222.347

PINTO, R. M. S.; PONZONI, F. J. Dados radiométricos na avaliação de efeitos da poluição atmosférica em folhas de espécies da Mata Atlântica. Revista Árvore, v. 24, n. 4, p. 465-475, 2000.

SILVA, L. C. et al. Micromorphological and anatomical alterations caused by simulated acid rain in restinga plants: *Eugenia uniflora* and *Clusia hilariana*. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 168, p. 129-143, 2005. https://doi.org/10.1007/s11270-005-0941-2

SPÓSITO, J. C. et al. Genetic instability in plants associated with vehicular traffic and climatic variables. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 120, p. 445-448, 2015. **https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.06.031**

SOVÓIA, E. J. et al. Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 72, p. 255-260, 2009. **https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.03.019**

SUN, M.; GROSS, K.; SCHIESTL, F. P. Floral adaptation to local pollinator guilds in a terrestrial orchid. *Annals of Botany*, v. 113, p. 289-300, 2014. **https://doi.org/10.1093/aob/mct219**

SYED, K. et al. Impact of air pollution on floral morphology and characteristics of Cassia glauca Lamk. in Indore (India). Journal of Environmental Research and Development, v. 3, p. 91-96, 2008.

WEATHERS, C. K.; STRAYER, D. L.; LIKENS, G. E. Fundamentos de ciência dos ecossistemas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

WHITE, J. W.; GONZÁLEZ, A. Characterization of the negative association between seed yield and seed size among genotypes of common bean. *Field Crops Research*, v. 23, n. 3, p. 159-175, 1990. **https://agris.fao.org/search/en/providers/122575/records/6471d38f69d6cbfdd4a30859**

ZAR, J. H. Biostatistical analysis. New Jersey: Prentice Hall, 1999.