

ANATOMIA DE UMA PLANTA AQUÁTICA INVASORA E ALTERAÇÕES PELA DIVERSIDADE DE ESPÉCIES LOCAIS NO PANTANAL

The Anatomy of Invasive Aquatic Plant and changes by the Diversity of Local Species in the Pantanal

DOI 10.55028/geop.v18i34

Vanessa de Carvalho Harthman*

Vinicius de Oliveira Leite**

Márcio José Silveira***

Resumo: Diversidade de espécies pode modificar a estrutura de plantas aquáticas. O objetivo deste estudo foi verificar se a diversidade de espécies influencia na anatomia de *Pontederia crassipes*, comparando resultados a locais onde a espécie ocorre isoladamente. Cortes anatômicos foram preparados a partir de amostras de folhas e caules coletados em ambientes aquáticos no Pantanal. Os resultados demonstraram que folhas e caules dos bancos monoespecíficos têm mais cristais de areia e ráfides e menor número de camadas no parênquima paliçádico e aerênquima do caule com células maiores, comparada à amostras dos locais mais diversos. Foi constatado que a anatomia das plantas é influenciada pela diversidade local.

Palavras-chave: Macrófita, *Pontederia crassipes*, espécies vizinhas, cristais de areia.

Abstract: Species diversity can modify the structure of aquatic plants. The objective of this study was to verify whether species diversity influences the anatomy of *Pontederia crassipes*, comparing results to places where the species occurs in isolation. Anatomical sections were prepared from leaf and stem samples collected in aquatic environments in the Pantanal. The results

Introdução

A diversidade de espécies local, em um ecossistema, pode modificar o padrão de produtividade e dispersão de plantas aquáticas, se houver produtividade baixa a quantidade de espécies diminui por causa da perturbação que vai ocorrer no local diminuindo fontes de recursos para sua sobrevivência (Arthaud *et al.*, 2013). Ou seja, nos locais que apresentam o maior número de espécies, a produção, dispersão e a morfologia desses indivíduos poderá ser afetada pela competição interespecífica.

Trabalhos teóricos e empíricos têm demonstrado que as condições locais onde a planta é encontrada, como por exemplo, elevado número de espécies, pode influenciar a estrutura da planta,

* Doutora em Botânica; Pesquisadora e docente do Curso de Ciências Biológicas - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Campus Pantanal, Corumbá - MS - Brasil. E-mail: vanessa.harthman@ufms.br.

** Mestrando do Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS - Brasil. E-mail: vinicius_leite@ufms.br.

*** Doutor em Ecologia - Universidade Estadual do Estado de Minas Gerais, Unidade Ubá, Av. Olegário Maciel, 1427, Ubá - MG- Brasil. E-mail: s.marcojs@gmail.com.

demonstrated that leaves and stems from the monospecific banks had more sand crystals and raphids, and a smaller number of layers in the palisade parenchyma and stem aerenchyma with larger cells, compared to samples from the most diverse sites. It was found that the anatomy of plants is influenced by local species diversity.

Keywords: Macrophyte, *Pontederia crassipes*, neighbour species, sand crystals.



pela competição entre as plantas vizinhas e, conseqüentemente, influenciar na evolução de seus caracteres. Essa interferência pode influenciar fortemente na aptidão entre as espécies e, é chamado de efeito de vizinhança (Harper, 1977; Stoll; Weiner, 2000). Além disso, a presença de plantas vizinhas específicas pode diminuir ou aumentar a atração de insetos para uma espécie de planta focal, fator este que pode impactar negativamente o desenvolvimento da planta, esses fenômenos são referidos como resistência associativa e suscetibilidade associativa (Tahvanainen; Root, 1972; Letourneau, 1995).

A espécie *Pontederia crassipes* Mart., é uma macrófita aquática flutuante pertencente à família Pontederiaceae, e essa família está representada por nove gêneros e 30 espécies, com distribuição na região tropical e subtropical, principalmente na região do Pantanal (Pott; Pott, 1994). Essa espécie apresenta ampla diversidade morfológica e diferentes estratégias vegetativas e reprodutivas (Sculthorpe, 1967; Barrett; Graham, 1997; Cook, 1998).

Popularmente conhecida como aguapé ou camalote (Pott; Pott, 1994), *P. crassipes* é uma planta com alta capacidade de colonização de novos ambientes e na formação de superpopulações, onde podem se tornar invasoras e conseqüentemente impactar o ambiente. Por exemplo, essa vantagem pode estar relacionada ao fato da espécie apresentar compostos alelopáticos capazes de

influenciar negativamente no desenvolvimento de plantas vizinhas (Oliveira, 2014), além de modificar as intensidades da luz solar e nutrientes disponíveis para outros organismos (Henry-Silva; Camargo, 2005). A alta densidade de *P. crassipes* pode impedir que a luz solar atinja a coluna d'água e chegue até as plantas submersas e, conseqüentemente promover à redução drástica da diversidade biológica nos ecossistemas aquáticos (IUCN, 2023). Além disso, é considerada uma planta altamente invasora estando na lista das 100 espécies mais perigosas segundo a IUCN (2023).

Apesar dos impactos que *P. crassipes* pode causar no ambiente, a diversidade de espécies locais pode impactar sua invasividade, através de suas estruturas morfológicas e anatômicas. Pode-se citar alguns estudos anatômicos que investigaram as folhas e caules de *P. crassipes*: Pereira *et al.* (2011); Olive (1894); Schwartz (1926) e Cheadle (1970). Diversos trabalhos têm demonstrado como a diversidade local pode impactar morfológicamente as estruturas de uma espécie invasora (Silveira *et al.*, 2018), no entanto, investigações de como a presença de espécies vizinhas podem determinar as alterações anatômicas das estruturas vegetativas desses indivíduos ainda não foi investigada.

Diante disso, o objetivo desse estudo foi verificar se a diversidade de espécies de uma determinada área pode influenciar o desenvolvimento anatômico da espécie *P. crassipes*, ou seja, se o efeito de espécies vizinhas pode interferir na estrutura interna da planta.

Material e métodos

O material vegetativo de *P. crassipes* foi coletado em diferentes regiões no rio Paraguai, localizado no município de Corumbá, no estado de Mato Grosso do Sul (MS) (Latitude 19° 0' 35" Sul, Longitude: 57° 39' 17"): Porto Geral de Corumbá; Porto Geral de Ladário, Parque Marina Gatass e APA Baía Negra.

Para identificação dos bancos de macrófitas, com diversidade de espécies, e bancos monoespecíficos, onde somente foi registrada a presença de *P. crassipes* (Figura 1A), foi utilizado um quadrado de 0,5 x 0,5m; esse quadrado foi lançado de forma aleatória no banco das macrófitas. Os locais considerados com maior riqueza de espécies, foram aqueles compostos por, pelo menos, quatro espécies de macrófitas e mais a ocorrência de *P. crassipes* (Figura 1B). Dentro de ambos os quadrados, o indivíduo de *P. crassipes* foi selecionado de forma aleatória para coleta e análise anatômica.

Figura 1. A-B: Método de amostragem utilizado na coleta de macrófitas aquáticas *in situ*



Fonte: Os autores, 2022. Seta branca indicando *P. crassipes*. Nota: A. Bancos monoespecíficos com apenas *P. crassipes*. B. Presença de pelo menos quatro espécies de macrófitas aquáticas e mais a ocorrência da *P. crassipes* no quadrado.

As folhas e caules coletados foram colocados em potes identificados, fixados em FAA 50% e armazenados em álcool 70%.

Os cortes anatômicos foram feitos a mão livre juntamente com auxílio de uma lâmina (Gillette). Os cortes foram preparados em um vidro relógio com solução de hipoclorito de sódio 33% até ficarem translúcidos, em seguida foram lavados com água destilada para remover o hipoclorito de sódio e, corados com Safrablau e novamente lavados com água destilada, na sequência os cortes corados foram colocados em uma lâmina de vidro com uma gota de glicerina e recoberto por uma lamínula e lutado com esmalte para evitar a desidratação (O'Brien *et al.*, 1965). As análises e a descrição dos cortes foram feitas em microscópio de luz. Foram tiradas fotos dos melhores cortes para análise e posterior montagem das pranchas com as figuras.

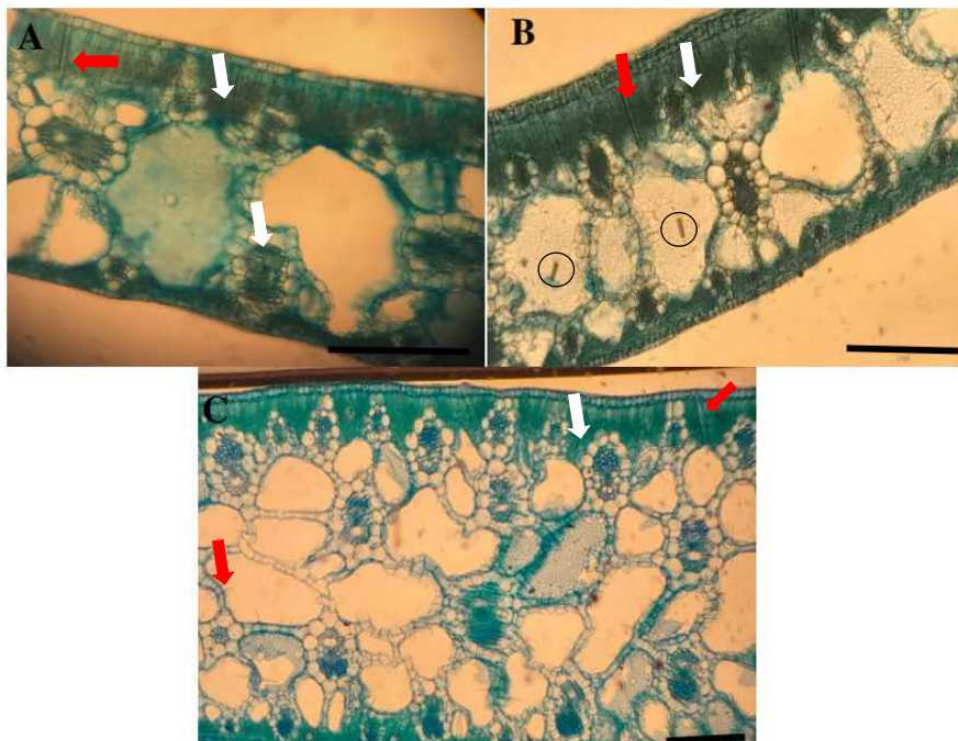
Resultados

Os resultados demonstraram que ocorreu diferença anatômica entre as folhas e os caules de *P. crassipes* amostrados em locais monoespecíficos, quando comparado aos dados anatômicos da espécie amostrada em locais com maior diversidade de espécies.

Nos indivíduos que foram amostrados nos locais monoespecíficos foi observado, na estrutura das folhas, que o parênquima paliçádico e lacunoso apresentou

disposição bem definida de células e com maior quantidade de ráfides em conjunto e isoladas; e cristais de areia localizados ao redor dos feixes vasculares no parênquima paliçádico e no parênquima lacunoso (Figs. 2A, B).

Figura 2. A-C: Folha em secção transversal de *P. crassipes*



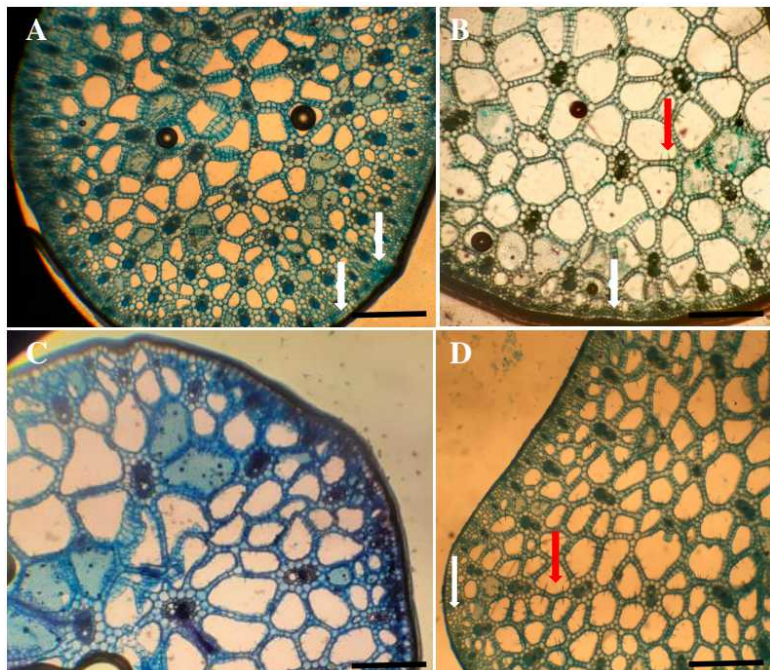
Fonte: Os autores, 2023. Seta branca: cristais do tipo areia; círculo: ráfides em conjunto; seta vermelha: Ráfides isoladas. Escala A, B: 100 μ m; C: 200 μ m. Nota: Folha de local monoespecífico mostrando a disposição do parênquima paliçádico e lacunoso (A, B). Folha de local com maior diversidade em espécies mostrando a disposição do parênquima paliçádico e lacunoso (C).

Por outro lado, as estruturas anatômicas dos indivíduos de *P. crassipes* amostrados em locais com maior diversidade de espécies, as células que compõem o parênquima paliçádico e lacunoso na folha estão mais justapostas, não tão evidentes, (Fig. 2C). Além disso, foi observada a presença de ráfides individuais e cristais de areia próximo a epiderme em ambos os parênquimas, porém em menor quantidade quando comparado aos indivíduos amostrados nos locais monoespecíficos (Fig. 2C).

Em relação ao caule de *P. crassipes*, a maior diferença pode ser observada na disposição do aerênquima (Figs. 3A, B, C, D), este se apresentou com estrutura mais desenvolvida e células maiores nos indivíduos amostrados em locais monoespecíficos, em relação aos indivíduos que foram amostrados em locais com

maior diversidade de espécies, onde as células em geral estavam deformadas (Figs. 3C, D). Além disso, também foi observado o maior número de cristais de areia no aerênquima e próximo aos feixes vasculares nos indivíduos amostrados nos locais monoespecíficos comparado aos indivíduos de *P. crassipes* que estavam crescendo em locais com maior diversidade de espécies.

Figura 3. A-D: Caules em corte transversal em exemplares coletados em banco de macrófitas aquáticas monoespecífico e outro com maior diversidade de espécies



Fonte: Os autores, 2023. Seta branca: cristais do tipo areia; seta vermelha: ráfides isoladas. Escala A, B, C e D: 200 μ m. Nota: Caule de local monoespecífico mostrando a disposição do aerênquima (A) e cristais do tipo ráfides e de areia (B). Caule mostrando a disposição do aerênquima e células deformadas em locais com diversidade de espécies (C, D).

Discussão

Foi observado que a anatomia de *P. crassipes* apresentou alterações anatômicas conforme o seu local de crescimento. Essas alterações estiveram relacionadas à característica do banco de macrófitas aquáticas, sendo esses monoespecíficos ou com espécies diversificadas.

O aerênquima é um tecido comum em plantas aquáticas, pois auxilia na translocação de gases e flutuação da planta; no entanto, nos bancos com maior diversidade de espécies foi possível observar que esse tecido se desenvolveu de

forma reduzida tanto na folha como no caule de *P. crassipes*, quando comparada às mesmas estruturas de indivíduos amostrados em banco monoespecíficos. Isso pode ser considerado uma resposta do indivíduo à presença de espécies vizinhas, onde a espécie pode otimizar a alocação de recursos em direção ao crescimento da planta e/ou para sua defesa (Zust; Agrawal, 2017), em resposta à competição.

Outra diferença anatômica observada em *P. crassipes* amostrados nos diferentes bancos (monoespecíficos e diversos) refere-se aos parênquima paliçádico ou clorofiliano, e ao lacunoso, também conhecido como esponjoso. Principalmente o parênquima paliçádico dos indivíduos de *P. crassipes* amostrados em bancos monoespecíficos apresentaram células justapostas e uma disposição de células pouco desenvolvida, se comparada aos indivíduos amostrados em bancos com maior riqueza de espécies. Ambos os parênquimas estão localizados na folha, o primeiro rico em cloroplastos e responsável por converter energia luminosa em energia química e o segundo responsável pela circulação dos gases (Appenzato-da-Glória; Carmello-Guereiro, 2006).

Quando *P. crassipes* está na presença de mais espécies, entende-se que possa ocorrer uma competição por luz e gases com as espécies vizinhas para a realização da fotossíntese que ocorre principalmente na folha. As interações planta-planta assumem uma variedade de formas, a co-ocorrência pode ser vista como aquele subconjunto de interações de interferência da planta que é mediada através do uso de recursos compartilhados (Bazzaz, 1990), o que acontece quando *P. crassipes* partilha do mesmo local com outras espécies e faz com que ocorra competição pelos recursos ali disponibilizados, isso porque as espécies ocupam nichos diferentes, utilizando os diferentes recursos disponibilizados para todas as espécies.

A quantidade de cristais de oxalato de cálcio do tipo ráfides e cristais de areia registrados em *P. crassipes* foi em maior número nos indivíduos amostrados nos bancos monoespecíficos do que nos locais mais diversos em espécies. Acredita-se que isso é um mecanismo de defesa do indivíduo, por não ter espécies vizinhas que possam servir como opção de predação para os herbívoros, ou seja, nos locais onde a espécie é registrada em populações monoespecíficas, o indivíduo tende a formar esses cristais como forma de defesa, já nos locais onde a espécie cresce na presença de outras, a formação dessas estruturas são minimizadas, porque existe uma diversidade maior de espécies que podem ser predadas pelos insetos. Esses cristais podem ser encontrados em diferentes órgãos das plantas e são considerados compostos secundários, ou seja não fazem parte do metabolismo do vegetal, porém, podem ter o efeito tóxico na planta quando se acumulam em quantidades excessivas (Franceschi; Horner, 1980). Além disso, luz, temperatura, pH, concentração de íons e a herbivoria pode afetar a localização, tamanho e outras

propriedades dos cristais nas plantas (Franceschi; Horner, 1980; Molano-Flores, 2001; Kuo-Huang *et al.*, 2007; Meriç, 2009).

Estudos tem demonstrado que organismos que vivem próximos muitas vezes podem interferir na suscetibilidade a inimigos, ou seja tornam-se menos suscetíveis, pois existem outras espécies no local que podem servir como presa aos inimigos (Holmes; Agrawal, 2021) e isso pode refletir na morfologia a anatomia da planta.

Muitas funções tem sido atribuídas aos cristais de oxalato de cálcio, dentre elas proteção contra insetos e animais forrageiros herbívoros devido a associação com irritantes químicos ou com toxinas proteolíticas, estresse ambiental e acúmulo de metal pesado no solo em que cresce (Rupali *et al.* 2012; Nakata, 2003). O efeito mecânico de agulhas como cristais que perfuram os animais forrageiros também é parte importante da defesa da planta, o que caracteriza as ráfides. Os cristais foram encontrados nas folhas e caules de *P. crassipes* quando a espécie esteve crescendo em bancos monoespecíficos ou em locais com maior diversidade de espécies, essas estruturas, possuem formato de agulha e apresenta dupla função para planta: regulação do nível de cálcio e defesa, o que foi observado em um estudo com a planta aquática *Pistia stratiotes* (Volk *et al.*, 2002). Estudos relataram que o acúmulo de cristais de oxalato de cálcio aumentou em folhas de *Sida rhombilfolia* (Molano-Flores, 2001) e sementes de abeto da Noruega (Tillman-Sutela; Kauppi, 1999) em resposta a herbivoria ou ferimento do tecido.

As plantas tipicamente respondem à herbivoria regulando as defesas físicas e químicas (Edwards *et al.*, 1986; Karban; Baldwin, 1997; Thaler *et al.*, 2001). Essa plasticidade de defesa pode atenuar a suscetibilidade dos herbívoros, porém em locais com maior número de espécies, essas estruturas de defesas podem ser minimizadas nos indivíduos, pois existem diversas espécies mais suscetíveis à herbivoria, porém em bancos monoespecíficos essas estruturas tendem a ser mais evidenciais, uma vez que a planta está sozinha ou seja, mais vulnerável à herbivoria (Coverdale *et al.*, 2018). Resultados semelhantes podem ser observados em nosso estudo, pois as análises anatômicas de estruturas de *P. crassipes* amostradas em locais monoespecífico demonstraram um aumento na quantidade de cristais para defesa, por outro lado, os indivíduos amostrados em locais mais diverso em espécies, suas estruturas apresentaram menor número de cristais. Possivelmente, devido à coexistência, as espécies investiram em crescimento e reprodução e minimizaram a produção de estruturas de defesa.

Assim, dentro das comunidades vegetais, plantas vizinhas podem aumentar ou diminuir a ocorrência de herbívoros e conseqüentemente os danos nessas plantas (Tahvanainen; Root, 1972; Brown; Ewel, 1987). O efeito de vizinhança

pode resultar em interações indiretas positivas ou negativas nas plantas e isso foi possível observar na modificação da anatomia foliar e caulinar de *P. crassipes* quando na presença de outras espécies.

As habilidades de *P. crassipes*, relatadas neste estudo através das modificações anatômicas, podem demonstrar a elevada plasticidade fenotípica que a espécie pode apresentar nas diferentes condições ambientais. No entanto, outras características da planta (morfológica, funcional, entre outras) associadas ao melhor ou pior desempenho sob diferentes condições ambientais, biótica ou abiótica, e os traços das plantas vizinhas promovem essas diferenças de desempenho e oferecem uma visão de como as interações competitivas podem ocorrer.

Conclusões

Foi possível verificar, através desse estudo, como as relações ecológicas podem interferir na anatomia da planta e, conseqüentemente, demonstrar como a diversidade de espécies pode influenciar na anatomia da espécie invasora *P. crassipes*.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Desenvolvimento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; do CNPq, e da UFMS.

Referências

- APENZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa Ltda., 2006.
- ARTHAUD, F.; VALLOD, D.; ROBIN, J.; WEZEL, A.; BORNETTE, G. Succession of short term aquatic plant species richness across ecosystem productivity and dispersion gradients in shallow lakes. **Revista de Ciências da Vegetação**, v. 24, n. 1, p. 148-156, 2013.
- BARRETT, S. C. H.; GRAHAM, S. W. Adaptive radiation in the aquatic plant family. Pontederiaceae: insights from phylogenetic analysis. *In*: GIVNISH, T. J.; SYTSMA, K. (Eds.). **Molecular evolution and adaptive radiation**. Cambridge University Press, Cambridge, 1997. p. 225-258.
- BAZZAZ, F. A. Plant-plant interactions in successional environments. *In*: GRACE, J. B.; TILMAN, D. (Eds.). **Perspectives on plant competition**. California, USA: Academic Press San Diego, 1990. p. 239-263.
- BROWN, B. J.; EWE, J. J. Herbivory in complex and simple tropical successional ecosystems. **Ecology**, v. 68, p. 108-116, 1987.
- CHEADLE, V. I. Vessels in Pontederiaceae, Ruscaceae, Smilacaceae, and Trilliaceae. **Bot. J. Linn. Soc.**, v. 63, p. 45-50, 1970.
- COOK, C. D. K. Pontederiaceae. *In*: KUBITZKI, K. (Ed.). **The Families and Genera of Vascular Plants**. Berlin: Springer, 1998. v. 4. p. 395-403.

- COVERDALE, T. C.; GOHEEN, J. R.; PALMER, T. M.; PRINGLE, R. M. Good neighbors make good defenses: Associational refuges reduce defense investment in African savanna plants. **Ecology**, v. 99, p. 1724-1736, 2018.
- EDWARDS, P. J.; WRATTEN, S. D.; GREENWOOD, S. Palatability of British trees to insects: constitutive and induced defenses. **Oecologia**, v. 69, p. 316-319, 1986.
- FRANCESCHI, V. R.; HORNER, H. T. Jr. Calcium oxalate crystals in plants. **The Botanical Review**, v. 46, p. 361-427, 1980.
- HARPER, J. L. **Population biology of plants**. London (United Kingdom): Academic Press. 1977.
- HENRY-SILVA, G.; CAMARGO, A. F. Interações ecológicas entre as macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. **Revista Hoenea**, v. 32, n. 3, p. 445-452, 2005.
- HOLMES, K. D.; AGRAWA, A. A. Induced resistance mitigates the effect of plant neighbors on susceptibility to herbivores. **Ecosphere**, v. 12, n. 1, 2021.
- HUANG, Q.; SWATANTRAN, A.; DUBAYAH, R.; GOETZ, S. J. The influence of vegetation height heterogeneity on forest and woodland bird species richness across the United States. **PLOS ONE**, v. 9, n. 8, 2014.
- IUCN - International Union for Conservation of Nature. *Eichhornia crassipes*. 2006. Disponível em: <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=70>. Acesso em: mar. 2023.
- KARBAN, R.; BALDWIN, I. T. **Induced responses to herbivory**. Illinois, USA: University of Chicago Press, 1997.
- KUO-HUANG, L. L.; KU, M. S. B.; FRANCESCHI, V. R. Correlations between calcium oxalate crystals and photosynthetic activities in palisade cells of shadeadapted *Peperomia glabella*. **Bot Stud**, v. 48, p. 155-164, 2007.
- LETOURNEAU, D. K. Associational susceptibility: effects of cropping pattern and fertilizer on Malawian bean fly levels. **Ecological Applications**, v. 5, p. 823-829, 1995.
- MERIC, Ç. Calcium oxalate crystals in some species of the Tribe Inuleae (Asteraceae). **Acta Biol Cracov Ser Bot**, v. 51, p. 105-110, 2009.
- MOLANO-FLORES, B. Herbivory and calcium concentrations affect calcium oxalate crystal formation in leaves of *Sida* (Malvaceae). **Annals of Botany**, v. 88, p. 387-391, 2001.
- NAKATA, P. A. Advances in our understanding of calcium oxalate crystal formation and function in plants. **Plant Science**, v. 164, p. 901-909, 2003.
- OLIVE, E. W. Contributions to the histology of the Pontederiaceae. **Botanical Gazette**, v. 19, p. 178-184, 1894.
- O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. **Protoplasma**, v. 59, p. 368-373, 1965.
- OLIVEIRA, M. G. **Influência das condições de adensamento em populações de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (Pontederiaceae) sobre o potencial alelopático das espécies**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG, 2014.
- PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; OLIVEIRA, C.; PIRES, M. F.; PASQUAL, M. anatômicos e fisiológicos de planats de aguapé para a tolerância à contaminação de arsênio. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, p. 259-267, 2011.
- POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal**. Brasília: Embrapa. 320 pp, 1994.
- RUPALI, T. CHAVAN, S, PANDHURE, N. Occurrence of chloride enriched calcium oxalate crystal in *cissus quadrangularis* linn. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 2, n. 2, p. 337-340, 2012.

SCHWARTZ, O. Anatomische, morphologische und systematische untersuchungen tiber die Pontederiaceen. **Beihefte zum botanischen Centralblatt**, v. 42, p. 263-320, 1926.

SCULTHORPE, C.D. **The biology of aquatic vascular plants**. London: Edward Arnold Ltda., 1967.

SILVEIRA, M. J.; ALVES, D. C.; THOMAZ, S. M. Effects of the density of the invasive macrophyte *Hydrilla verticillata* and root competition on growth of one native macrophyte in different sediment fertilities. **Ecological Research**, v. 33, p. 927-934, 2018.

STOLL, P.; WEINER, J. A. Neighborhood view of interactions among individual plants. *In*: DIECKMANN, U.; LAW, R.; METZ, J. A. J. **The geometry of ecological interactions: simplifying spatial complexity**. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University Press, 2000. p. 11-27.

TAHVANAINEN, J. O.; ROOT, R. B. The influence of vegetational diversity on the population ecology of a specialized herbivore, *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Oecologia**, v. 10, p. 321-346, 1972.

THALER, J. S.; STOUT, M. J.; KARBAN, R.; DUFFEY, S. S. Jasmonate-mediated induced plant resistance affects a community of herbivores. **Ecological Entomology**, v. 26, p. 312-324, 2001.

TILLMAN-SUTELA, E.; KAUPPI, A. Calcium oxalate crystals in the mature seeds of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. **Trees**, v. 13, p. 131-137, 1999.

VOLK, G. M.; LYNCH-HOLM, V. J.; KOSTMAN, T. A.; GOSS, L. J.; FRANCESCHI, V. R. The role of druse and raphide calcium oxalate crystals in tissue calcium regulation in *Pistia stratiotes* leaves. **Plant Biology**, v. 4, p. 34-45, 2002.

ZUST, T.; AGRAWAL, A. A. Trade-offs between plant growth and defense against insect herbivory: an emerging mechanistic synthesis. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, p. 513-534, 2017.