

Uma breve abordagem teórica sobre o potencial alelopático em comunidades vegetais

A brief theoretical approach on allelopathic potential in plant communities

Un breve enfoque teórico sobre el potencial alelopático en comunidades vegetales

Recebido: 21/01/2022 | Revisado: 25/01/2022 | Aceito: 09/03/2022 | Publicado: 16/03/2022

Mauricio Pedro da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8280-6830>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: mauricio_2121@yahoo.com.br

Felipe Bueno Dutra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6280-7307>
Universidade Federal de São Carlos, Brasil
E-mail: fbdrutra@estudante.ufscar.br

Giovanna de Oliveira Bernardes dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1318-932X>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: giovanna.bernardes@unesp.br

Talita Jardim do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7510-335X>
Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: talitajardimn@gmail.com

Giulia de Crescenzo Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5689-091X>
Universidade Federal de São Carlos, Brasil
E-mail: giulia.crescenzo@estudante.ufscar.br

Maycon Cristiano Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1690-080X>
Universidade Federal de São Carlos, Brasil
E-mail: mbarbosa@estudante.ufscar.br

Gabriele Soares Boa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1696-9938>
Universidade Federal de São Carlos, Brasil
E-mail: gabrieleboa7@gmail.com

Emerson Viveiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0215-0585>
AES Brasil, Brazil
E-mail: emerson.viveiros@aes.com

Bruno Santos Francisco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8586-3750>
Universidade Federal de São Carlos, Brasil
E-mail: brunofrancisco@estudante.ufscar.br

Resumo

Nas comunidades vegetais, as plantas podem interagir de maneira positiva, negativa ou neutra. Essa é uma característica muito importante para garantir a sobrevivência, além de fornecer informações para construção de conhecimento e produtos a serem utilizados no controle específico de algumas plantas daninhas. O objetivo do trabalho foi realizar revisão bibliográfica sobre os efeitos da alelopatia em comunidades vegetais, podendo ser observado tanto nas competições intraespecífica quanto na interespecífica. Com base nos resultados da literatura é provável que os compostos alelopáticos possam alterar componentes do ecossistema que, por sua vez, conduzem processos e interações, as quais modificam a composição e dinâmica das comunidades vegetais. No entanto, uma grande lacuna na pesquisa da alelopatia recai sobre a inexistência de metodologias a serem aplicadas em campo que demonstrem o papel desses compostos no desenvolvimento interespecífico e ao longo da comunidade. Desse modo, faz-se necessário que os estudos levem em consideração quais as fontes de variação entre as espécies, os tipos de impactos causados nas espécies associadas e, principalmente, os seus efeitos em nível de comunidade.

Palavras-chave: Compostos químicos; Ecologia; Biocontrole.

Abstract

In plant communities, plants can interact positively, negatively, or neutrally. This is a very important feature to ensure survival, in addition to providing information for building knowledge and products to be used in the specific control of some weeds. The objective of this work was to carry out a literature review on the effects of allelopathy on plant communities, which can be observed both in intraspecific and interspecific competitions. Based on the results of the literature, it is likely that allelopathic compounds can alter ecosystem components that, in turn, drive processes and

interactions, which modify the composition and dynamics of plant communities. However, a major gap in allelopathy research lies in the lack of methodologies to be applied in the field that demonstrate the role of these compounds in interspecific and community-wide development. Thus, it is necessary that studies that take into account the sources of variation between species, the types of impacts caused on associated species and, mainly, their effects at the community level.

Keywords: Chemical compounds; Ecology; Biocontrol.

Resumen

En las comunidades de plantas, las plantas pueden interactuar de manera positiva, negativa o neutral. Esta es una característica muy importante para asegurar la supervivencia, además de brindar información para la construcción de conocimiento y productos a ser utilizados en el control específico de algunas malezas. El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión bibliográfica sobre los efectos de la alelopatía en las comunidades vegetales, que se pueden observar tanto en competencias intraespecíficas como interespecíficas. Con base en los resultados de la literatura, es probable que los compuestos alelopáticos puedan alterar los componentes del ecosistema que, a su vez, impulsan procesos e interacciones que modifican la composición y la dinámica de las comunidades vegetales. Sin embargo, una brecha importante en la investigación de la alelopatía radica en la falta de metodologías para aplicar en el campo que demuestren el papel de estos compuestos en el desarrollo interespecífico y comunitario. Por lo tanto, es necesario realizar estudios que tengan en cuenta las fuentes de variación entre especies, los tipos de impactos causados sobre las especies asociadas y, principalmente, sus efectos a nivel comunitario.

Palabras clave: Compuestos químicos; Ecología; Biocontrol.

1. Introdução

A alelopatia pode ser definida como o processo em que a planta produz substâncias químicas (aleloquímicos) que suprime o crescimento e o estabelecimento de outras plantas (Li et al., 2011). Tais compostos podem suprimir o desenvolvimento e a persistência de espécies competidoras (Inderjit et al., 2011), e assim interferir na dinâmica e composição das comunidades vegetais (Silva et al., 2015).

Acreditam-se que os aleloquímicos podem influenciar no crescimento das plantas de diversas maneiras, podendo ser através do efeito direto sobre o crescimento da planta e no seu estabelecimento; através de efeitos indiretos na degradação e na transformação de subprodutos; pela interação com fatores abióticos e bióticos do substrato; e pela indução na liberação de substâncias químicas por outra espécie de planta (Inderjit & Nilsen, 2003).

No entanto, as variadas maneiras pelas quais os compostos aleloquímicos interferem nas espécies, os diversos fatores que influenciam a produção, o transporte e o efeito desses compostos, e a ocorrência de outros mecanismos que podem gerar os mesmos padrões causados pela presença de alelopáticos no ambiente, faz com que testar as reais consequências da alelopatia nas comunidades naturais seja difícil (Inderjit & Dakshini, 1995), e com que sua importância para as comunidades permaneça, de certa forma, incerta (Meiners et al., 2012). Nota-se que a alelopatia tem como funcionalidade propiciar o desenvolvimento da espécie que a libera, enquanto as plantas ao seu redor têm o detrimento do seu desenvolvimento interrompido ou prejudicado.

Os compostos alelopáticos continuam sendo estudados assim como seus mecanismos em diversas áreas, podendo ser citados em estudos para substituir herbicidas sintéticos na agricultura, que podem causar dano não só à saúde humana assim como a toda biodiversidade ali presente. É de suma importância que tenhamos uma compreensão melhor sobre o estudo, já que existem variáveis entre o estudo em campo e laboratorial e para que isso seja possível, tem-se a necessidade de novos levantamentos para auxiliar com dados e fundamentação para futuros trabalhos abordando tal temática (Rocha et al., 2021). No nosso estudo fizemos uma revisão bibliográfica sobre o efeito da alelopatia em comunidades vegetais, podendo ser observado tanto nas competições intraespecíficas quanto nas interespecíficas.

2. Metodologia

O método adotado para o desenvolvimento do nosso estudo foi o de revisão bibliográfica com análise em trabalhos acadêmicos como artigos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, publicações em congressos e estudos de campo

realizados sobre o assunto, através das palavras-chaves: alelopatia, aleloquímicos e compostos alelopáticos. Para realizar o levantamento da pesquisa, as buscas foram realizadas pelo Portal de Periódicos da Capes, Scielo (Scientific Eletronic Library Online), Google Acadêmico, Scopus e Science Direct, com publicações nacionais e internacionais.

Nosso estudo possui cunho descritivo e explicativo através da técnica de apreensão bibliográfica com abordagem qualitativa, uma vez que ela descreve a complexidade do problema e as interações de variáveis. Deste modo, o nosso trabalho buscou trazer à tona a discussão deste assunto tão relevante para pesquisadores e técnicos da área por meio de uma revisão bibliográfica, leitura, estudo e confecção de novas ideias.

3. Resultados e Discussão

3.1 Compostos alelopáticos e mecanismos de interferência

Nos estudos de alelopatia em plantas, os principais questionamentos são se os aleloquímicos envolvidos são produtos do metabolismo celular ou se são sintetizados pela planta com função específica. Alguns autores defendem a primeira hipótese, com base no fato de que estas substâncias se encontram, em maior quantidade, nos vacúolos das células das plantas, onde seriam depositadas a fim de evitar a sua própria autotoxicidade (Whittaker & Feeny, 1971). Entretanto, esta teoria é contestada por Swain (1977), segundo o qual os aleloquímicos são produzidos nas células com finalidade específica e sua síntese obedece às leis da genética.

Pesquisas têm sido conduzidas para isolar e identificar a estrutura química dos aleloquímicos e em quais espécies eles são encontrados, existindo também diversas tentativas em os agrupar. Whittaker e Feeny (1971) enquadram os compostos aleloquímicos em cinco grupos: ácido cinâmico, flavonóides, terpenóides, esteróides e alcalóides. São conhecidos cerca de 10.000 produtos secundários com ação alelopática, considerados apenas uma pequena parte da quantidade possivelmente existente na natureza (Almeida, 1990). É possível que a atividade biológica destes produtos dependa mais da sua concentração e mobilidade do que da sua composição química, pois o composto que é tóxico para uma espécie vegetal, pode ser inócuo para outra. As substâncias alelopáticas são liberadas dos tecidos vegetais por volatilização, lixiviação, exsudação radicular e pela decomposição de resíduos vegetais (Rice, 1984). De modo geral, estas substâncias apresentam grande instabilidade, sendo rapidamente decompostas após sua liberação.

No caso de aleloquímicos voláteis, o exemplo clássico é dos chaparraís da Califórnia, onde duas espécies arbustivas, *Salvia leucocephala* Kunth e *Artemisia californica* Less., liberam substâncias voláteis do grupo químico dos terpenos, as quais impedem o desenvolvimento de qualquer outra vegetação num raio de dois metros (Putnam & Duke, 1978). Assim como os terpenos, os compostos fenólicos conferem a algumas espécies o potencial de dominância ecológica através dos aleloquímicos presentes. *Artemisia argyi* (Asteraceae) é rica em ácidos fenólicos, especialmente ácido cafeico (AC), capazes de reduzir o crescimento de ervas daninhas mono e dicotiledôneas em diferentes graus dependentes de concentração, além de induzir a concentração de espécies reativas de oxigênio (ERO) nas mesmas (Chen et al., 2022). AC também foi identificado em *Scoparia dulcis* L., onde interferiu negativamente na germinação e crescimento de ervas daninhas e *Lactuca sativa* (Ferreira et al., 2020).

Nos solos, por sua vez, é difícil saber com precisão se as substâncias alelopáticas, são provenientes diretamente das raízes, ou produzidas pelos microrganismos a elas associadas ou liberadas pela decomposição dos resíduos orgânicos, nos quais se incluem as células mortas que se despreendem das raízes (Almeida, 1990).

A ação alelopática produzida por microrganismos associados à decomposição de resíduos vegetais tem sido verificada em alguns casos. Podendo citar o trigo (*Triticum aestivum* L.) que, quando semeado em solo contendo restos da mesma cultura no sistema de plantio direto, apresenta, por vezes, crescimento e desenvolvimento retardados provocados pela exsudação da fitotoxina do fungo *Penicillium urticae* associado à palha em decomposição. (Almeida, 1990). Os aleloquímicos liberados pelos resíduos vegetais em decomposição são distribuídos irregularmente no solo, concentrando-se nas proximidades dos resíduos.

Assim, a extensão do efeito dos aleloquímicos é dependente do maior ou menor contato entre o sistema radicular e os fragmentos dos resíduos vegetais (Patrick, 1971).

Na agricultura, observou-se através de estudos, a possibilidade de substituir o uso de defensivos químicos pelos aleloquímicos, essa mudança se mostrou uma saída para o manejo de ervas daninhas, e têm-se notado satisfatória (Mano, 2004). Assim como o ácido cafeico de *Artemisia argyi* foi eficaz no controle de invasoras (Chen et al., 2022), culturas in vitro de *Vismia japurensis* Rchb.f. (Hypericaceae) tiveram potencial alelopático sobre *Lactuca sativa*, demonstrando também um potencial para a biotecnologia de herbicidas naturais (Lima et al., 2022).

No entanto, a elucidação dos mecanismos e do modo pelos quais os aleloquímicos modificam o crescimento e o desenvolvimento em comunidades vegetais tem sido para os pesquisadores um contínuo desafio, em razão da limitada disponibilidade de trabalhos de pesquisa que abordam esta questão.

3.2 Fatores que influenciam na produção, transporte e efeitos dos compostos alelopáticos

Condições bióticas e abióticas podem apresentar diferentes impactos na produção, armazenamento e liberação de aleloquímicos nas plantas. Componentes bióticos do ecossistema como a herbivoria, competição, agentes patogênicos, e decompositores subterrâneos podem alterar a concentração e produção de compostos químicos no tecido vegetal ou na sua liberação pela planta (Karban e Baldwin et al., 2006 como citado em Lohmann et al., 2009 p. 290).

Muitos aleloquímicos podem ser produzidos devido a baixas concentrações de nutrientes no solo. Exemplo, é a raiz da espécie *Centaurea diffusa* Lam. que sob baixas concentrações de ferro prolonga a liberação da substância aleloquímica 8-hydroxyquinoline que também mobiliza metais e os torna disponíveis para as plantas (Tharayil, 2009). Dessa forma, o teor de metais no solo pode influenciar altamente a produção e a disponibilidade de 8-hydroxyquinoline no solo (Tharayil, 2009). Compostos orgânicos voláteis (COV), nos quais se incluem aleloquímicos, podem ser condicionados também pelos teores de carboidratos. Quando utilizados como reguladores de crescimento para *Clinopodium pulegium* (Rochel) Bräuchler, foi constatado, além das alterações em crescimento e desenvolvimento, mudanças na natureza dos COV condicionadas pelo tipo e concentração dos açúcares (Stojicic et al. 2022).

A indução de defesa através da produção de metabólitos secundários são mecanismos comuns entre as plantas e, se os mesmos metabólitos ou seus derivados apresentam efeito alelopático, a herbivoria pode modificar, substancialmente, essas interações alelopáticas (Siemens et al., 2002). A herbivoria induz mecanismos de defesas nas plantas e podem provocar a liberação de compostos orgânicos voláteis e acumulação de polifenóis, e algumas dessas substâncias produzidas podem apresentar função alelopática no ambiente (Baldwin et al., 2006). Observável através da aplicação exógena de metil jasmonato, substância química que induz defesa contra a herbivoria em diversas plantas, e que ocasionou a acumulação de compostos fenólicos em arroz e aumentou os seus efeitos alelopáticos sobre outras plantas (Bi et al., 2007). O acúmulo ácido jasmônico, de onde deriva o metil jasmonato, também tem sido observado em plantas que sofrem injúrias pela herbivoria, além da forte correlação com a presença de silício (Hall et al. 2019).

A comunidade biótica do solo também pode influenciar nas interações alelopáticas entre as plantas, pois os microrganismos podem degradar as substâncias químicas presentes no solo. Dessa forma, a avaliação da atividade aleloquímica do substrato sem microrganismos não pode, portanto, ser ecologicamente relevante (Inderjit et al., 2011). Essas interações são vistas nos efeitos alelopáticos de m-tirosina, metabólito exsudado pelas raízes de *Festuca rubra* L. dá subespécie *commutata*, ao serem demonstrados através de bioensaios na ausência de microrganismos (solo estéril) (Bertin et al., 2007). Em contrapartida, Kaur et al. (2009) demonstrou que os efeitos alelopáticos desse metabólito foram apenas evidentes em solo esterilizado, e que diminuíram significativamente em solo não estéril na presença da comunidade microbiana intacta. Há também fortes indícios do simbiotismo na ação alelopática, como a ação da cepa endofítica *Burkholderia sp.* LS-044 em associação com arroz (*Oryza*

sativa ssp. *japonica* cv. Tainung 71), que demonstrou uma alta afinidade no uso de aleloquímicos, contribuindo para a alelopatia de *O. sativa* e para a redução da autotoxicidade dos compostos sobre a mesma (Hameed et al. 2019).

Dessa forma, ao estudar os efeitos da alelopatia em comunidades vegetais, é necessário levar em consideração todas essas variáveis bióticas e abióticas, que podem interferir desde a produção até aos efeitos que determinado composto aleloquímico pode causar em uma determinada planta.

3.3 Estudos de laboratórios vs Estudos de campo

A ocorrência de alelopatia tem sido proposta, baseada em estudos laboratoriais, para muitas espécies de plantas, como a *Artemisia frigida* Willd. (Li et al., 2011), *Salvia* spp. (Nishida et al., 2005), *Chrysanthemoides monilifera* (L.) Norl. (Ens et al., 2009) e *Waltheria indica* L. (Francisco et al., 2021), onde o efeito alelopático dessas espécies tem sido relacionado com a emissão de substâncias voláteis.

O principal método utilizado para estudos da alelopatia em laboratório é através de bioensaios, que são ferramentas importantes para entender a ação de um determinado componente alelopático (Inderjit & Nilsen, 2003). No entanto, a dificuldade de simular as condições encontradas no campo, muitas vezes, podem influenciar na resposta alelopática. Ainda, de acordo com Rimando et al. (2001) ao isolarem aleloquímicos de arroz (cultivar Taichung Native 1), argumentaram que os resultados obtidos da atividade desses aleloquímicos podem ser relevantes tanto para condições em campo quanto em laboratórios. Em contrapartida, Inderjit e Nilsen (2003) apontam algumas deficiências nesse trabalho, como a não utilização de solo no experimento, o que, dessa maneira, torna esses resultados inválidos aos seres considerados para situações de campo. Resultados controversos também foram observados na alelopatia de *Miscanthus* (Poaceae), onde as condições controladas foram significativamente diferentes das condições de campo, sendo observado que a alelopatia da espécie em campo é superior (Awty-Carroll et al. 2020).

Existem poucos estudos de campo que avaliam os efeitos da alelopatia em comunidades vegetais, e isso se deve, principalmente, à dificuldade de estabelecer um controle apropriado (Inderjit & Nilsen, 2003). A falta de um controle adequado pode confundir, em situações de campo, a atividade alelopática com outros fatores que podem ser responsáveis pelos padrões de inibição (Silva et al., 2015). São desta maneira os efeitos inibitórios sobre a vegetação causado pelo arbusto *Artemisia californica* e *Salvia* spp., primeiramente relacionado à alelopatia (Muller et al., 1964), eram na verdade causados pela atividade de predação dos animais (Bartholomew, 1970). Outro fator que dificulta as análises em campo é devido a íntima associação da alelopatia com outros processos bióticos e abióticos o que torna, quase impossível, separar os efeitos alelopáticos de outros processos que podem ocorrer em condições de campo (Inderjit & Del Moral, 1997).

Alguns estudos demonstram que espécies de plantas que apresentam efeitos alelopáticos em laboratórios, podem não apresentar o mesmo efeito em comunidades vegetais. Um exemplo disso, é o arbusto *Heterothalamus psiadioides* Less., que produzem fitotóxicos voláteis que aumentam o seu potencial alelopático (Lambers & Colmer, 2005). Trabalhos em laboratórios avaliaram os óleos essenciais produzidos por essa espécie arbustiva e observaram que esses compostos apresentaram efeito alelopático sobre crescimento de dicotiledôneas herbáceas (Schmidt-Silva, 2012). No entanto, Silva et al. (2015) ao avaliarem o efeito alelopático da *H. Psiadioides* em comunidades vegetais, observaram uma maior riqueza e diversidade de espécies de dicotiledôneas herbáceas em locais com a presença desse arbusto. No estudo com alelopático da seringueira (*H. brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) utilizou-se o extrato aquoso de folhas adultas na germinação da espécie Alface (*Lactuca sativa* L.) como bioindicador, verificando uma alta quantidade de sementes não germinadas (Rocha et al., 2021).

A alelopatia pode desempenhar um papel relevante na dinâmica de campos e no manejo de plantas daninhas em pastagens. Na região dos campos do sul do Brasil, monoculturas de *Eucalyptus* têm sido plantadas. A vegetação é escassa sob os plantios, o que pode estar associado à alelopatia. Em uma perspectiva aplicada, aleloquímicos de *Eucalyptus* poderiam ser

potencialmente empregados como herbicidas naturais. A alelopatia pode ser um fator determinante na estruturação da vegetação campestre, e pode consistir em uma ferramenta potencial no controle de plantas daninhas. O extrato aquoso e do óleo essencial das folhas da serapilheira de *Eucalyptus saligna* Sm. sobre espécies campestres em laboratório foram investigados em plantios, bem como se esses efeitos estavam relacionados à alelopatia. Observou-se que as folhas da serapilheira de *E. saligna* apresentaram substâncias fitotóxicas que geraram estresse oxidativo e levaram a danos nas membranas, afetando a germinação e o crescimento de plântulas. A serapilheira inibiu a vegetação campestre em plantios de *E. saligna*, mas os efeitos foram principalmente físicos, e efeitos alelopáticos não foram detectados (Silva, 2018). Em um estudo com a espécie *Waltheria indica*, Francisco et al. 2021, observaram efeitos inibitórios na germinação da gramínea *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) RDWebster. Araújo et al. 2021, testando o efeito alelopático do óleo de *Eucalyptus* com extrato pirolenhoso em plantas daninhas, em condições de campo, relataram que não houveram efeitos de fitotoxicidade em nenhuma das espécies testadas. Sendo assim, a alelopatia tem sido assunto muito controverso tanto em experimentos conduzidos em laboratórios quanto em condições de campo, principalmente quando se trata de comunidades vegetais. Em laboratório devido à dificuldade de simular as condições encontradas no campo, e no campo devido às várias influências ambientais que podem levar a resultados equivocados sobre os efeitos alelopáticos e seu real impacto em determinada comunidade.

3.4 Variações ambientais e respostas alelopáticas

Os padrões observados nas comunidades são resultado de variações de combinação de diferentes processos, dificultando a avaliação dos efeitos de um processo isoladamente em campo (Inderjit & Del Moral, 1997). A inibição do crescimento de determinada espécie pode ser consequência tanto da alelopatia como da competição por recursos, ou mesmo de ambos (Inderjit & Dakshini, 1995). A capacidade das plantas de produzir aleloquímicos é muitas vezes influenciada pelo seu ambiente (Coley et al., 1985). Em algumas algas, a deficiência nutricional de N e P não surte efeitos negativos sobre suas características alelopáticas, embora seu crescimento seja prejudicado (Wang et al. 2020). O estresse biótico e abiótico pode regular o potencial alelopático de algumas espécies, como *Lonicera maackii* (Rupr.) Maxim. (Caprifoliaceae), que, sob simulação de condições climáticas futuras, teve seu potencial alelopático aumentado sobre a germinação e índice de germinação de plantas alvo (Medina-Villar et al. 2020). Esses compostos, assim como agentes de defesa contra herbívoros, podem ser principalmente moléculas de carbono ou nitrogênio (Duke & Dayan, 2006) e ser favorecidos por diferentes condições de crescimento. Como existe um custo energético para a manutenção dos aleloquímicos (Lankau, 2008), pode ser vantajoso para as plantas variar sua produção de compostos aleloquímicos em função da presença/ausência de competidores interespecíficos (Kong et al., 2002). Por exemplo, a alocação de carbono e nutrientes para o crescimento e reprodução ao invés de aleloquímicos quando a competição é mínima pode ampliar sua capacidade de se adaptar ao ambiente. Em contrapartida, há uma incógnita na competição intraespecífica de algumas espécies que limitam seu potencial produtivo. A produção comercial de *Miscanthus* é impedida pela autotoxicidade de seus extratos alelopáticos, proantocianidinas e ácido vanílico, liberados por sementes germinadas sobre e este potencial também é associado a quantidade de sementes (Awty-Carroll et al., 2020). Sendo assim, a resposta das plantas ao ambiente resultaria em plasticidade fenotípica entre os estratos, os quais variam na disponibilidade de recursos e interações competitivas. Embora a alelopatia seja comumente considerada mecanismo de competição, não se sabe se esse mecanismo atenua ou maximiza a concorrência específica por água, luz, nutrientes minerais ou a concorrência em geral. De fato, a competição tem sido verificada como fator tanto de aumento quanto diminuição na abundância de aleloquímicos (Kong et al., 2002 como citado em Rivoal et al., 2011, P. 403), dificultando ainda a interpretação dos resultados obtidos em experimentos de campo.

4. Considerações Finais

É provável que os compostos alelopáticos possam alterar componentes do ecossistema que, por sua vez, conduzem

processos e interações, as quais modificam a composição e dinâmica das comunidades vegetais. No entanto, uma grande lacuna na pesquisa da alelopatia recai sobre a inexistência de metodologias a serem aplicadas em campo que demonstrem o papel desses compostos no desenvolvimento interespecífico e ao longo da comunidade.

Portanto, através desta revisão de literatura observa-se que é necessário que os estudos futuros levem em consideração quais as fontes de variação entre as espécies, os tipos de impactos causados nas espécies associadas e, principalmente, os seus efeitos enquanto nível de comunidade.

Referências

- Almeida, F.S. (1990). Alelopatia: a defesa das plantas. *Ciência Hoje*, 45, 11-3.
- Araújo, G. R., Erasmo, E. A. L., Da Silva, P. P., Oliveira, D. I., Gonçalves, F. B., Borges, K. S., & Rodrigues, R. D. C. M. (2021). Potencial alelopático de óleo de eucalyptus e de Capim citronela no controle de plantas daninhas. *Brazilian Journal of Development*, 7(5), 44248-44237.
- Awty-Carroll, D., Hauck, B., Clifton-Brown, J., & Robson, P. (2020). Allelopathic and intraspecific growth competition effects establishment of direct sown *Miscanthus*. *GCB Bioenergy*, 12, 396-409.
- Baldwin, I.T. et al. (2006). Volatile signaling in plant-plant interactions: 'talking trees' in the genomics era. *Science*, 311(5762), 812-815.
- Bartholomew, B. (1970). Bare zone between California shrub and grasslands communities: the role of animals. *Science*, 170(3963), 1210-1212.
- Bertin, C. Et al. (2007). Grass roots chemistry: meta-tyrosine, an herbicidal nonprotein amino acid. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, 104(43), 16964-16969.
- Bi, H.H. (2007). Rice allelopathy induced by methyl jasmonate and methyl salicylate. *J. Chem. Ecol.*, 33(5), 1089-1103.
- Chen, L., Li, J., Zhu, Y., Guo, L., Ji, R., Miao, Y., Guo L., Du, H. & Liu, D. (2022) Caffeic Acid, an Allelochemical in *Artemisia argyi*, Inhibits Weed Growth via Suppression of Mitogen-Activated Protein Kinase Signaling Pathway and the Biosynthesis of Gibberellin and Phytoalexin. *Frontiers in Plant Science*, 12(802198), 1-15.
- Coley, P.D., Bryant, J.P. & Chapin, F.S. (1985). Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science*, 230(4728), 895-899.
- Duke, S.O. & Dayan, F.E. (2006). Modes of action of phytotoxins from plants. In: pedrol, n., gonzález, l., reigosa, m.j. (eds) allelopathy: a physiological process with ecological implications. Springer, dordrecht, 23, 511-536.
- Ens, E.J. (2009). Identification of volatile compounds released by roots of an invasive plant, bitou bush (*chrysanthemoides monilifera* spp. *Rotundata*), and their inhibition of native seedling growth. *Biol. Invasions.*, 11(2), 275-287.
- Ferreira, E. V. R., Franco, S. P. B., Santos, A. F. & Souza, R. C. (2020). Allelopathic activity of broom (*Scoparia dulcis* L.) on the germination of invasive plants. *Rev. Bras. Cienc. Agrar.*, Recife, 15 (2), e7368.
- Flora do Brasil. (2020). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>.
- FRANCISCO, Bruno Santos et al. (2021). Allelopathic effects of *Waltheria indica* L.: Biocontrol potential in ecological restoration. *Research, Society and Development*. 10 (13), e235101321263-e235101321263.
- Hall C. R., Waterman J. M., Vandeger R.K., Hartley S. E., & Johnson S. N (2019) The Role of Silicon in Antiherbivore Phytohormonal Signalling. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1132.
- Hameed, A., Shahina, M., Young, L., Lai, W., Sridhar, K. R., & Young, C. (2019). Bacteriostatic stimulus of meropenem on allelochemical-metabolizing *burkholderia* sp. LS-044 mitigates ferulic acid autotoxicity in rice (*oryza sativa* ssp. *japonica* cv. *tainung 71*). *Plant and Soil*, 443(1-2), 73-86.
- Inderjit, et al. (2011). The ecosystem and evolutionary context of allelopathy. *Trends in ecology and evolution*, 26(12), 655-662.
- Inderjit., Dakshini, K.M.M. (1995). On laboratory bioassays in allelopathy. *The botanical review*, 61(1), 28-44.
- Inderjit; Del moral, R. (1997). Is separating resource competition from allelopathy realistic? *Bot. Rev.* 63(3), 221-230.
- Inderjit; Nilsen, E.T. (2003). Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and problems. *Crit. Rev. Plant. Sci.*, 22(3-4), 221-238.
- Kaur, h. Et al. (2009). Taking ecological function seriously: soil microbial communities can obviate allelopathic effects of released metabolites. *Plos one*, 4(3), e4700.
- Kong, C.H., Hu, F. & Xu, X.H. (2002). Allelopathic potential and chemical constituents of volatiles from *ageratum conyzoides* under stress. *J. Chem. Ecol.*, 28(6), 1173-1182.
- Lambers, H. & Colmer, T.D. (2005). *Root physiology: from gene to function*. Springer, dordrecht, 274.
- Lankau, R.A. (2008). Chemical trait creates a genetic trade-off between intra- and interspecific competitive ability. *Ecology*, 89(5), 1181-1187.

- Li, X.F. Et al. (2011). Allelopathic potential of artemisia frigida and successional changes of plant communities in the northern china steppe. *Plant soil*, 341, 383-398.
- Lima, L. M., Pedrosa, L. S., Osório, M. I C., et al.. (2022). Phytotoxicity of plant extracts of *Vismia japurensis* cultivated in vivo and in vitro. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e235475.
- Lohmann, M., Scheu, S. & Müller, C. (2009). Decomposers and root feeders interactively affect plant defence in *sinapis alba*. *Oecologia*, 160(2), 289-298.
- Mano, A. R. O. (2004). Efeito alelopático do extrato aquoso de sementes de Cumaru (*Amburana cearensis* S.) sobre a germinação de sementes, desenvolvimento e crescimento de plântulas de alface, picão-preto e carrapicho. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- Medina-Villar, S., Uscola, M., Pérez-Corona, M. E., & Jacobs, D. F. (2020). Environmental stress under climate change reduces plant performance, yet increases allelopathic potential of an invasive shrub. *Biol Invasions*, 22, 2859-2881.
- Meiners, S. J. Et al. (2012). Developing an ecological context for allelopathy. *Plant ecology*, 213(8), 1221-1227.
- Muller, C.H., Muller, W.h., & Haines, B.L. (1964). Volatile growth inhibitors produced by aromatic shrubs. *Science*, 143(3605), 471-473.
- Nishida, N. Et al. (2005). Allelopathic effects of volatile monoterpenoids produced by *salvia leucophylla*: inhibition of cell proliferation and dna synthesis in the root apical meristem of *brassica campestris* seedlings. *J. Chem. Ecol.*, 31(5), 1187-1203.
- Patrick, Z. A. (1971). Phytotoxic substance associated with the decomposition in soil of plant residues. *Soil sci.*, 111(1), 13-18.
- Putnam, A.R. & Duke, W.B. (1978). Allelopathy in agroecosystems. *Ann. Ver. Phytopathol.*, 16, 431-451.
- Rice, E.L. (1984). *Allelopathy*. 2ª edição. New York, EUA: Academic Press, 422.
- Rimando, A.M. et al. (2001). Searching for rice allelochemicals: an example of bioassay-guided isolation. *Agron. J.*, 93, 16-20.
- Rivoal, A. Et al. (2011). Does competition stress decrease allelopathic potential? *Biochem. Syst. Ecol.*, 39(4), 401-407.
- Rocha, L. F., Francisco, B. S., Dutra, F. B., Teração, B. S., de Almeida, L. S., Viveiros, E., & da Silva, J. M. S. (2021). Efeitos alelopáticos de seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss.) Müll. Arg.) Na germinação e crescimento inicial da alface (*Lactuca sativa* L.). *Research, Society and Development*, 10(14), e70101421712-e70101421712.
- Schmidt-Silva, V. (2012). Potencial alelopático do óleo essencial de espécies de *Heterothalamus* nativas do Rio Grande do Sul. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
- Siemens, D. Et al. (2002). The cost of defense in the context of competition: *Brassica rapa* may grow and defend. *Ecology*, 83(2), 505-517.
- Silva, E. R. D. (2018). Alelopatia: um possível fator relevante em comunidades vegetais campestres e um caminho alternativo no manejo de plantas daninhas? Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Silva, E. R. Et al. (2015). Does the phytotoxic shrub *Heterothalamus psiadioides* affect a plant community through allelopathy? *Plant. Ecol.*, 216(1), 87-97.
- Stojicic, D., Tošic, S., Stojanovic, G., Zlatkovic, B., Jovanovic, S., Budimir, S., & Uzelac, B. (2022). Volatile Organic Compound Composition and Glandular Trichome Characteristics of In Vitro Propagated *Clinopodium pulegium* (Rochel) Bräuchler: Effect of Carbon Source. *Plants*, 11(2), 198.
- Swain, T. (1977). Secondary compounds as protective agents. *Rev. Plant. Physiol.*, 28(1), 479-501.
- Tharayil, N. Et al. (2009). Dual purpose secondary compounds phytotoxin of *Centaurea diffusa* also facilitates nutrient uptake. *New Phytol*, 181(2), 424-434.
- The Plant List (2013). Version 1.1. Published on the Internet. <http://www.theplantlist.org>.
- Wang, R., Xue, Q., Wang, J., & Tan, L. (2020). Competitive interactions between two allelopathic algal species: *Heterosigmaakashii* and *Phaeodactylum tricorutum*. *Marine Biology Research*, 16(1), 32-43.
- Whittaker, R.H. & Feeny, P.P. (1971). Allelochemicals: chemical interactions among plants. *Science*, 171(3973), 757-770.