



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - CCBS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLÓGICA E RECURSOS
NATURAIS – PPGDR

JOSÉ ANDERSON SOARES DA SILVA

**EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO FOLIAR DE *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon &
G. P. Lewis (FABACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE
Azadirachta indica A. Juss. (MELIACEAE)**

CRATO-CE

2025

JOSÉ ANDERSON SOARES DA SILVA

EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO FOLIAR DE *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis (FABACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Azadirachta indica* A. Juss. (MELIACEAE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri – URCA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva

CRATO-CE

2025

Eu, José Anderson Soares da Silva, autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha Catalográfica elaborada pelo autor através do sistema
de geração automático da Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri – URCA

Silva, José Anderson Soares da

S586e EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO FOLIAR DE *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis (FABACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Azadirachta indica* A. Juss. (MELIACEAE) / José Anderson Soares da Silva. Crato-Ce, 2025.

74p. il.

Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri - URCA.

Orientador(a): Prof. Dr. Maria Arlene Pessoa da Silva

1.Alelopatia, 2.Espécies invasoras, 3.Espécies exóticas, 4.Bioherbicidas, 5.Azadirachtina; I.Título.

CDD: 577

JOSÉ ANDERSON SOARES DA SILVA

EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO FOLIAR DE *Cenostigma pyramidale* (TUL.) GAGNON &
G. P. LEWIS (FABACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE
Azadirachta indica A. JUSS. (MELIACEAE)

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora em: 25/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 MARIA ARLENE PESSOA DA SILVA
Data: 04/11/2025 23:34:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva
Presidente da Banca - Orientadora
Universidade Regional do Cariri - URCA

Documento assinado digitalmente
 CAIAN SOUZA GEROLAMO
Data: 04/11/2025 21:17:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Caian Souza Gerolamo
Membro Interno da Banca
Universidade Regional do Cariri - URCA

Documento assinado digitalmente
 ANTONIO CARLITO BEZERRA DOS SANTOS
Data: 04/11/2025 20:05:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Antônio Carlito Bezerra dos Santos
Membro Externo da Banca
Secretária da Educação do Estado do Ceará (SEDUC)

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado ao meu querido Deus e a minha mãe, Francisca Antônia da Silva, essa, a pessoa mais importante da minha vida, minha namorada Regina Mendes e aos meus verdadeiros amigos, pois sempre estão me apoiando, me possibilitando ter forças para lutar nesse árduo trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha base, o meu alicerce, o meu Deus, pois o mesmo me guiou e guiará, e sempre estará comigo e confortará.

A minha mãe que em todos os momentos da minha vida sempre esteve ao meu lado me proporcionando apoio. Se cheguei até aqui, foi por conta dos incentivos nos momentos mais difíceis. Não se preocupe, não irei parar por aqui.

A professora Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva por ter me acolhido no Laboratório de Botânica Aplicada (LBA), e para além do conhecimento, mostrou preocupação e compreensão nos momentos mais difíceis (foram muitos), sentirei saudades, pois foram mais de cinco anos trabalhando ao seu lado.

Há um grupo de pessoas, as quais posso chamar de meus amigos, dos quais tenho uma enorme confiança, os mesmos sempre estiveram comigo e sempre me apoiaram, são eles: Fernanda Gouveia, Wallas Benevides, Davi Filgueiras, Henrique Aguiar, Mateus Deus, Davi Ramalho, Adrielson, Natanael, Inês, Naara Vasques, Melissa e a minha namorada, Regina Mendes, que Deus continue abençoando nossa relação, sou grato demais por ter vocês em minha vida.

Aos meus colegas do Laboratório de Botânica aplicada (LBA), Felipe Rufino, Cícera Thainá e em especial Bruno Melo, você é uma pessoa incrível e se tornará um enorme pesquisador, estou orgulhoso com sua evolução, obrigado pela experiência de trabalho e troca de conhecimento, serei eternamente grato.

Agradeço a Universidade Regional do Cariri (URCA) e ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais (PPGDR) por contribuir com minha formação profissional.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pela concessão da bolsa de pesquisa e auxílio financeiro, permitindo a execução desse trabalho.

Ao Laboratório de Pesquisa de Produtos Naturais (LPPN), coordenado pelo Professor Dr. José Galberto Martins, agradeço a toda a equipe pela parceria, atenção e auxílio na realização de etapas da química do solo.

A minha banca examinadora, por ter aceitado o convite para avaliação e por suas valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

“Com grandes poderes, vem grandes responsabilidades”.

Peter Park

RESUMO

A alelopatia exerce um importante papel na colonização de ambientes naturais por espécies exóticas, com potencial de invasoras, as quais podem gerar um grave problema ambiental, afetando negativamente espécies nativas da flora e fauna. Neste cenário *Azadirachta indica*, merece destaque sendo necessário compreender e mitigar os efeitos da invasão biológica causada por esta espécie. Dentre as espécies nativas com potencial alelopático, destaca-se *Cenostigma pyramidale*, rica em diterpenos e flavonoides, compostos reconhecidos por apresentarem atividade alelopática. Considerando tais aspectos, com este trabalho buscou-se avaliar o potencial alelopático da decomposição foliar de *C. pyramidale* sobre a germinação e crescimento de *A. indica*. Para simular o processo de decomposição, as folhas de *C. pyramidale* foram coletadas, misturadas ao solo da Caatinga em camadas intercaladas e postas a decompor durante 90 dias, nas concentrações de 21 g/kg (T1), 42 g/kg (T2) e 63 g/kg (T3). Foram analisadas: composição química do solo, composição química da espécie doadora, porcentagem de germinação (%), tempo de germinação de 50% (t_{50}), índice de velocidade de emergência (IVE) e sincronia, índice mitótico, alterações anatômicas comprimento do epicótilo, hipocótilo e das raízes, peso seco do epicótilo, hipocótilo e raízes, pigmentos fotossintéticos e área foliar. A análise de HPLC – DAD detectou compostos como pinacembrina, apigenina, narigenina, ácido cinâmico e ácido p-cumárico nas diferentes concentrações. Os resultados demonstraram que o aumento da concentração de folhas de *C. pyramidale* no solo resultou em efeitos negativos na germinação de *A. indica*, resultando em uma menor taxa germinativa nos tratamentos com maiores concentrações. Além disso, observou-se uma redução na espessura da epiderme da radícula, sugerindo alterações anatômicas que podem comprometer o desenvolvimento inicial da plântula. A área foliar também foi reduzida em todos os tratamentos, indicando que os compostos alelopáticos liberados durante a decomposição podem interferir na expansão foliar e consequentemente na capacidade fotossintética da planta. Os resultados deste estudo demonstraram que compostos liberados através da decomposição foliar de *C. pyramidale* promovem efeitos alelopáticos negativos sobre a germinação das sementes e crescimento inicial das plântulas, reforçando o papel ecológico da alelopatia na regulação das interações entre espécies nativas e exóticas/invasoras em ecossistemas, como a Caatinga. Estudos futuros devem investigar os mecanismos moleculares envolvidos nas interações observadas a fim de mitigar os impactos de *A. indica* sobre espécies nativas em ambientes naturais.

Palavras-chave: Alelopatia; Espécies invasoras; Espécies exóticas; Bioherbicidas; *Azadirachta*

ABSTRACT

Allelopathy plays an important role in the colonization of natural environments by exotic species with invasive potential, which can pose serious environmental problems by negatively affecting native flora and fauna. In this context, *Azadirachta indica* stands out, making it essential to understand and mitigate the effects of the biological invasion caused by this species. Among the native species with allelopathic potential, *Cenostigma pyramidale* is notable due to its richness in diterpenes and flavonoids—compounds known for their allelopathic activity. Considering these aspects, the present study aimed to evaluate the allelopathic potential of *C. pyramidale* leaf decomposition on the germination and growth of *A. indica*. To simulate the decomposition process, *C. pyramidale* leaves were collected and mixed with Caatinga soil in alternating layers, then left to decompose for 90 days at concentrations of 21 g/kg (T1), 42 g/kg (T2), and 63 g/kg (T3). The following parameters were analyzed: soil chemical composition, donor species chemical composition, germination percentage (%), time to 50% germination (t_{50}), emergence speed index (ESI), synchrony, mitotic index, anatomical alterations, epicotyl, hypocotyl and root length, dry weight of epicotyl, hypocotyl and roots, photosynthetic pigments, and leaf area. HPLC-DAD analysis detected compounds such as pinocembrin, apigenin, naringenin, cinnamic acid, and *p*-coumaric acid at different concentrations. The results showed that increasing the concentration of *C. pyramidale* leaves in the soil resulted in negative effects on *A. indica* germination, with lower germination rates observed in treatments with higher concentrations. In addition, a reduction in the thickness of the radicle epidermis was observed, suggesting anatomical changes that may compromise early seedling development. Leaf area was also reduced in all treatments, indicating that allelopathic compounds released during decomposition can interfere with leaf expansion and, consequently, the plant's photosynthetic capacity. The results of this study demonstrated that compounds released through the foliar decomposition of *C. pyramidale* have negative allelopathic effects on seed germination and early seedling growth, reinforcing the ecological role of allelopathy in regulating interactions between native and exotic/invasive species in ecosystems such as the Caatinga. Future studies should investigate the molecular mechanisms involved in these interactions in order to mitigate the impacts of *A. indica* on native species in natural environments.

Keywords: Allelopathy; Invasive species; Exotic species; Bioherbicide, Azadirachtin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Locais de coleta de <i>Cenostigma pyramidale</i> (espécie doadora) e <i>Azadirachta indica</i> (espécie receptora) e do experimento de decomposição foliar. Missão Velha, Ceará, Brasil.....	46
Figura 2. <i>Cenostigma pyramidale</i> no estágio de senescência em Missão Velha, Ceará, Brasil.....	46
Figura 3. Perfil HPLC dos padrões de ácidos fenólicos e flavonoides do extrato da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i>	56
Figura 4. Perfil HPLC do extrato da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i>	56
Figura 5. Porcentagem de germinação de sementes de <i>Azadirachta indica</i> submetidas a diferentes concentrações de extratos de serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i>	58
Figura 6. Aspectos anatômicos da radícula de <i>Azadirachta indica</i> em cortes transversais, submetida a diferentes concentrações de serrapilheira de folhas de <i>Cenostigma pyramidale</i> ...	61
Figura 7. Índice mitótico de células meristemáticas de <i>Azadirachta indica</i> submetidas ao extrato da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i> em diferentes concentrações.....	62
Figura 8. Atividade alelopática da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i> no comprimento em centímetros (cm) da radícula, epicótilo e hipocótilo de <i>Azadirachta indica</i>	64
Figura 9. Efeito alelopático do extrato da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i> na área foliar de <i>Azadirachta indica</i>	66

LISTA DE TABELA

Tabela I. Características físico-químicas do solo da Caatinga em diferentes concentrações da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i>	53
Tabela II. Quantificação dos compostos por HPLC /DAD do extrato da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i>	57
Tabela III. Atividade alelopática do extrato da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i> sobre sincronia, tempo de germinação de 50% das sementes (T50) e índice de velocidade de germinação (IVG) de <i>Azadirachta indica</i>	59
Tabela IV. Espessura (µm) dos tecidos de diferentes regiões dos caules jovens e radículas de <i>Azadirachta indica</i> em seção transversal, submetidos a diferentes concentrações do extrato da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i>	60
Tabela V. Frequência das diferentes fases da divisão celular (mitose) em células meristemáticas das radículas de plântulas de <i>Azadirachta indica</i> submetidas a diferentes concentrações do extrato da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i> após 120 dias de decomposição.....	63
Tabela VI. Peso seco em gramas da raiz, hipocótilo e epicótilo de plântulas de <i>Azadirachta indica</i> submetidos aos substratos de solo da Caatinga contendo folhas decompostas de <i>Cenostigma pyramidale</i>	65
Tabela VII: Atividade alelopática da serrapilheira de <i>Cenostigma pyramidale</i> sobre o conteúdo de clorofila e carotenoides de <i>Azadirachta indica</i>	66

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
1.INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. Histórico sobre alelopatia.....	15
2.2. Metabólitos secundários.....	16
2.3. Mecanismos de liberação e ação dos Aleloquímicos.....	17
2.4. Alelopatia na caatinga.....	18
2.5. Estudos alelopáticos em espécies de Fabaceae.....	19
2.6. Alelopatia em decomposição foliar no controle de espécie invasora.....	21
2.7. Alelopatia e aspectos anatômicos.....	22
2.8. Alelopatia x Citogenética.....	22
2.9. <i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis	23
2.10. <i>Azadirachta indica</i> A. Juss.....	24
3. REFERÊNCIAS.....	25
4. CAPÍTULO 1: EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO FOLIAR DE <i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis (FABACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. (MELIACEAE).....	40
INTRODUÇÃO.....	43
MATERIAL E MÉTODOS.....	44
Identificação do material botânico.....	44
Coleta do solo.....	45
Decomposição foliar.....	46

Análise físico-química do solo.....	46
Análise fitoquímica da espécie doadora.....	46
Preparação dos extratos.....	46
Prospecção química.....	47
Flavonoides totais.....	47
Análise quantitativa por HPLC/DAD.....	47
Preparação dos padrões.....	47
Análise em HPLC/DAD.....	48
Teste de germinação.....	49
Índice mitótico.....	49
Alterações anatômicas.....	50
Teste de crescimento.....	50
Análise estatística.....	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
Análise físico-química do solo.....	51
Composição química de <i>Cenostigma pyramidale</i>	53
Prospecção química.....	53
Teor de Flavonoides Totais.....	54
Análise quantitativa por HPLC/DAD do extrato de <i>Cenostigma pyramidale</i>	54
Ação alelopática de <i>Cenostigma pyramidale</i> sobre a germinação de <i>Azadirachta indica</i> ...	57
Ação alelopática de <i>Cenostigma pyramidale</i> sobre morfologia interna de <i>Azadirachta indica</i>	58
Ação alelopática de <i>Cenostigma pyramidale</i> sobre o índice mitótico de <i>Azadirachta indica</i>	60
Efeito alelopático de <i>Cenostigma pyramidale</i> sobre o crescimento de <i>Azadirachta indica</i>	62
CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	66

INTRODUÇÃO

A Caatinga é um tipo vegetacional exclusivamente brasileiro que enfrenta um cenário alarmante de degradação (BEZERRA et al., 2014; ANTONGIOVANNI et al., 2020). A intensa atividade humana, como a agropecuária e a exploração descontrolada dos recursos, tem levado à perda significativa de habitats (ARAÚJO et al., 2023). Um dos impactos mais preocupantes é a proliferação de espécies invasoras, que encontram um ambiente desequilibrado e sem barreiras para se estabelecerem (HOLL, 2023). Essas espécies competem por recursos, podem alterar o solo reduzindo os nutrientes, afetando a diversidade e a manutenção da fauna e flora nativos (JONES; MCDERMOTT, 2018).

Diante desse cenário, o estudo de interações entre plantas tem se mostrado uma alternativa promissora para o manejo sustentável da Caatinga (BROOKER et al., 2008; CARVALHO et al., 2022), dentre essas interações, encontra-se a alelopatia, que pode ser definida como um efeito maléfico ou benéfico mediado por substâncias químicas (aleloquímicos) liberadas na natureza através da lixiviação, exsudação, decomposição ou volatilização (IAS, 2012). Várias pesquisas demonstram que espécies nativas da Caatinga produzem compostos alelopáticos capazes de inibir o crescimento de competidoras, inclusive de invasoras (OLIVEIRA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2016; RODRIGUES et al., 2021).

A decomposição foliar destaca-se nesse contexto como estratégia natural de regulação ecológica (ZHANG et al., 2015; RIBEIRO et al., 2018; ALVES et al., 2023). Durante esse processo, as folhas senescentes das espécies nativas, além de reciclagem de nutrientes, liberam compostos que afetam a germinação e o crescimento de outras espécies, podendo dificultar o sucesso da invasão biológica (SILVA et al., 2021a).

Entre as espécies nativas, *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis, conhecida como catingueira, de valor econômico e medicinal utilizada tradicionalmente no tratamento de diversas doenças (QUEIROZ, 2009), possui metabólitos secundários como diterpenos, flavonoides, taninos e terpenoides, com propriedades biológicas relevantes (CHAVES et al., 2015). Parte desses compostos atua como aleloquímicos, podendo interferir na germinação e no crescimento de plantas vizinhas (CHIOCCHETTA; TISCHER, 2022).

Um exemplo de ameaça à biodiversidade é *Azadirachta indica* A. Juss., conhecida popularmente como nim indiano, é nativa da Índia e amplamente disseminado pelo mundo por

seu valor econômico e propriedades inseticidas (BERGALLO; SILVEIRA FILHO; ZILLER 2021). O Nim apresenta dispersão zoocórica, fácil adaptabilidade, germinação rápida e produção de azadiractina (PARROTTA; CHATURVEDI, 1994; LIMA; SILVA, 2022). Estudos realizados por Silva et al. (2018); Mota (2020); Silva et al. (2022); Nascimento et al. (2024) detalham seu potencial alelopático e consequente êxito na invasão biológica com impacto negativo sobre a vegetação nativa.

Considerando os aspectos acima relatados, com este trabalho objetivou-se avaliar o potencial alelopático das folhas em decomposição de *C. pyramidale* sobre a germinação e o crescimento de *A. indica*, além de verificar seus efeitos na anatomia das plântulas e identificar os metabólitos secundários liberados durante o processo de decomposição.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Histórico sobre alelopatia

Os primeiros registros sobre a capacidade de plantas, influenciarem negativamente a germinação e o crescimento de outras existentes em suas proximidades, foram feitos por Theophrastus em 300 a.C. (RICE, 2012). O que foi respaldado por Plínio, ao relatar os impactos negativos que *Hordeum vulgare* L. (cevada), *Trigonella foenum-graceum* L. (feno-grego) e *Vicia ervilia* Will. (ervilha) causavam no crescimento de plantas vizinhas (RICE, 2012).

Séculos passaram e em 1832, o botânico De Candolle sugeriu que a perda dos nutrientes do solo em áreas agrícolas era causada por substâncias liberadas por monoculturas ao longo dos anos, as quais acabavam por afetar o desenvolvimento das próprias plantas (RICE, 2012). No entanto, as primeiras evidências científicas só surgiram no início do século XX, quando Schreiner e Reed publicaram uma série de artigos que confirmavam a influência de compostos liberados pelas raízes de plantas no crescimento de outras culturas (SOUZA FILHO, 2023).

Em 1937 o termo alelopatia, originado das palavras gregas *allelon* (mútuo) e *pathos* (sofrimento) foi proposto pelo pesquisador alemão Hans Molisch para denominar o fenômeno. O qual foi definido por Molisch como a capacidade de uma espécie exercer influência, seja positiva ou negativa, sobre outra por meio da liberação de compostos químicos no ambiente. Posteriormente, a alelopatia foi associada apenas aos efeitos prejudiciais, diretos ou indiretos, de uma planta sobre outra (PUTNAM; DUKE, 1978).

Com o implemento dos estudos Rice (1984), amplia a definição de alelopatia descrevendo-a como qualquer efeito benéfico ou prejudicial exercido por uma espécie vegetal ou por microrganismos sobre outra, por meio da liberação de compostos químicos no ambiente. Atualmente, o conceito abrange processos que envolvem a produção de aleloquímicos por plantas, bactérias, algas, vírus e fungos, os quais podem interferir no crescimento e no desenvolvimento de sistemas biológicos e agrícolas, podendo exercer efeitos tanto inibidores quanto estimulantes (IAS, 2012).

2.2. Metabólitos secundários

As plantas produzem uma ampla variedade de compostos químicos, produzidos através do metabolismo primário e secundário (BORGES; AMORIM, 2020). O metabolismo primário envolve processos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando na síntese de carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (BARRETO; GASPI; OLIVEIRA, 2020). Enquanto o metabolismo primário origina metabólitos secundários altamente específicos, com um papel crucial na evolução das plantas e em suas interações com outros organismos sendo agrupados em três classes principais: terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados (VIEIRA et al., 2020).

Os terpenos são hidrocarbonetos naturais amplamente produzidos por diversas espécies de plantas e alguns animais (BORGES; AMORIM, 2020). Com mais de 55.000 moléculas já identificadas, essa classe representa o grupo mais numeroso e estruturalmente complexo entre os produtos naturais conhecidos (BORGES; AMORIM, 2020). A classificação dos terpenos baseia-se na quantidade de unidades de cinco carbonos (C5), denominadas unidades isoprenoides. Assim, os monoterpenos contêm 10 átomos de carbono (duas unidades de C5), os sesquiterpenos possuem 15 carbonos (três unidades de C5), e os diterpenos apresentam 20 carbonos (quatro unidades de C5) (VERRUCK; PRUDENCIO; SILVEIRA, 2018).

Os compostos fenólicos formam uma categoria quimicamente diversificada, com cerca de 10.000 compostos identificados (BORGES; AMORIM, 2020). Essas substâncias possuem pelo menos um anel aromático com um grupo hidroxila ligado (VIZZOTO; KROLOW; WEBER, 2010). Eles são sintetizados principalmente por duas vias metabólicas: a rota do ácido chiquímico, responsável pela maioria dos fenóis, e a via do ácido malônico (BARRETO; GASPI; OLIVEIRA, 2020).

Já os compostos nitrogenados são sintetizados a partir de aminoácidos comuns e incluem alcaloides e glicosídeos cianogênicos (TAIZ et al., 2013). Os alcaloides estão presentes em cerca de 20% das plantas vasculares, sendo mais comuns em dicotiledôneas herbáceas e menos frequentes em monocotiledôneas e gimnospermas (PAGARE et al., 2015).

A maioria destes compostos influencia diversos processos no organismo vegetal, desempenhando funções como a prevenção da decomposição de sementes, a interferência na germinação e dormência das sementes, e o impacto no crescimento e desenvolvimento de plantas já estabelecidas (TADAIESKI et al., 2021). Sendo, portanto, essenciais na adaptação e sobrevivência das plantas.

2.3. Mecanismos de liberação e ação dos Aleloquímicos

Os compostos com ação alelopática são derivados do metabolismo secundário das plantas e são comumente denominados aleloquímicos, substâncias alelopáticas, fitotoxinas ou, de forma mais geral, metabólitos secundários (FUMAGALI et al., 2008). Sendo encontrados em diferentes partes da planta, como folhas, caules, raízes, flores, frutos e sementes (NÓBREGA et al., 2009). A produção e a concentração destes compostos podem variar em função de fatores ambientais, a exemplo da temperatura, precipitação, umidade, radiação solar e sazonalidade (VIECELLI; CRUZ-SILVA, 2009).

Os aleloquímicos são liberados por meio da volatilização, lixiviação, exsudação e decomposição (WEIR; PARK; VIVANCO, 2004). Na volatilização, compostos aromáticos são liberados por folhas, flores, caules e raízes podendo ser absorvidos por plantas vizinhas (ALMEIDA, 2008). Entre os compostos voláteis, destacam-se o gás carbônico, amônia, etileno e terpenoides (DUDAREVA et al., 2013). Na lixiviação, a chuva atua como agente transportador, movendo compostos como terpenos, alcaloides e fenóis das folhas para o solo (BRANCO et al., 2013). Já na exsudação radicular, uma grande quantidade de compostos é liberada na rizosfera, influenciando diretamente ou indiretamente as interações entre plantas e microrganismos (WU et al., 2023). Enquanto na decomposição, as folhas senescentes que caem no solo são metabolizadas por microrganismos. Esse processo libera aleloquímicos, que podem ou não exercer efeito alelopático (PAVINATO; ROSOLEM et al., 2008).

Quanto ao mecanismo de ação, os aleloquímicos desempenham diversas funções, como defesa contra herbívoros e microrganismos, proteção contra raios UV, atração de polinizadores ou dispersores de sementes, e participação em processos alelopáticos (VIEIRA et al., 2020).

Aleloquímicos como monoterpenos estão relacionados à atração de polinizadores e à repulsão de insetos, a exemplo dos piretróides, que atuam como inseticidas naturais (VIZZOTO; KROLOW; WEBER, 2010). Enquanto os sesquiterpenos estão envolvidos na defesa das plantas contra pragas e doenças (BARRETO; GASPI; OLIVEIRA, 2020).

Os taninos, flavonoides e alguns compostos fenólicos simples desempenham funções de defesa contra herbívoros e patógenos (RIBEIRO et al., 2021). A cumarina, um composto fenólico simples, atua na defesa contra herbívoros, insetos e fungos (PAGARE et al., 2015). As saponinas, uma classe importante de triterpenos, também desempenham um papel significativo na proteção contra insetos e microrganismos (VIZZOTO; KROLOW; WEBER, 2010).

De fato, os compostos referidos atuam sobre diversos alvos moleculares nas plantas, interferindo em processos fisiológicos essenciais, como respiração, fotossíntese, atividade enzimática, relações hídricas, abertura dos estômatos, níveis de hormônios vegetais, disponibilidade de minerais, divisão e alongamento celular, além de afetarem a estrutura e a permeabilidade de membranas e paredes celulares. Muitos desses efeitos estão associados à indução de estresse oxidativo (CORSATO et al., 2016). Desse modo os aleloquímicos exercem um papel fundamental no ciclo de vida das plantas, influenciando a conservação, dormência e germinação de sementes, bem como o crescimento de plântulas e o vigor vegetativo de plantas adultas (FELIX et al., 2007).

2.4. Alelopatia na caatinga

A Caatinga, é um tipo vegetacional exclusivamente brasileiro, caracterizado por um conjunto de adaptações morfofisiológicas (BEZERRA et al., 2014; ANTONGIOVANNI et al., 2020). A flora e fauna enfrentam condições extremas, como longos períodos de seca, o que exige estratégias de sobrevivência únicas (TROVÃO et al., 2007). Uma dessas estratégias, ainda pouco explorada, é a alelopatia, um fenômeno de interação química entre plantas que pode ser importante para a dinâmica da flora e a resiliência do ecossistema (SILVA et al., 2021a).

A alelopatia é um efeito benéfico ou maléfico que pode ocorrer entre bactérias, fungos, algas e plantas, mediado por substâncias químicas, chamadas aleloquímicos, os quais são liberados no ambiente através da decomposição, lixiviação, exsudação e volatilização (IAS, 2012). Os aleloquímicos atuam nos vegetais inibindo ou estimulando os processos

germinativos, o crescimento e o desenvolvimento (SOUZA; VELINI; MAIOMONI-RODELLA, 2003; ROSADO et al., 2009; PINTO et al., 2016; SILVA et al., 2021b). Na Caatinga, onde a competição por recursos como água e nutrientes é intensa, a alelopatia pode ser um mecanismo poderoso de exclusão competitiva, garantindo que uma espécie dominante mantenha seu espaço (HOLANDA et al., 2017; HERCULANO et al., 2022; ZHANG et al., 2021; MCCOY; WIDHALM; MCNICKLE, 2022).

Um dos principais desafios na pesquisa sobre alelopatia na Caatinga é a complexidade do ambiente (SILVA et al., 2021a). Com interações influenciadas por fatores como a composição do solo, intensidade da luz solar, disponibilidade de água e presença de microrganismos (SILVA et al., 2021a). É durante o período seco, quando ocorre a caducifolia das folhas de determinadas espécies vegetais, que a concentração de aleloquímicos no solo pode se tornar um fator limitante para o estabelecimento de plântulas de outras espécies (MOLINA; REIGOSA; CARBALLEIRA, 1991; GUASCONI; MANZONI; HUGELIUS, 2023).

Diversos estudos já demonstraram o potencial alelopático de algumas espécies da Caatinga (OLIVEIRA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2016; RODRIGUES et al., 2021). Espécies como *Sarcomphalus joazeiro* (Mart.) Hauenschild, *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. e *Croton jacobinensis* Baill. apresentam ação alelopática inibindo o crescimento de outras espécies (OLIVEIRA et al., 2009; SILVEIRA; MAIA; COELHO, 2011, 2012; PARENTE; SILVA; MOURÃO, 2014). Em áreas de Caatinga a alelopatia pode ser uma vantagem evolutiva, permitindo que determinadas espécies vegetais se desenvolvam em nichos específicos, mesmo em um ambiente tão inóspito (FERREIRA; ÁQUILA, 2000).

2.5. Estudos alelopáticos em espécies de Fabaceae

O estudo da alelopatia em espécies de Fabaceae representa um campo de significativa relevância científica, especialmente pelas suas implicações na agricultura e nos ecossistemas naturais (OLIVEIRA et al., 2005). As leguminosas são capazes de liberar no ambiente compostos bioativos, como flavonoides e alcaloides, que influenciam diretamente a germinação, o crescimento e a produtividade de outras espécies vegetais (OLIVEIRA et al., 2020; MININEL; MININEL, 2025). Essas interações químicas podem tanto inibir o desenvolvimento de plantas competidoras, como ervas daninhas, quanto favorecer relações

benéficas, como a simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (MIA; SHAMSUDDIN, 2010; OLIVEIRA et al., 2020).

A aplicação desse conhecimento oferece alternativas promissoras para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis (CREMONEZ et al., 2013). Como estratégia de manejo ecológico, o uso de extratos de espécies alelopáticas pode substituir, parcial ou totalmente, herbicidas sintéticos, os quais são associados a impactos negativos sobre o solo e a biodiversidade (RIZZARDI, 2007). Nesse contexto, o cultivo de leguminosas como plantas de cobertura, pela capacidade de suprimir plantas invasoras, representa uma abordagem eficaz na redução do uso de agrotóxicos (ALTIERI et al., 2012).

Diversas espécies de Fabaceae têm sido identificadas com potencial alelopático, incluindo *Sesbania virgata* (Cav.) Poir. (COELHO et al., 2022), *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (SILVEIRA; MAIA; COELHO, 2012), *Amburana cearensis* (Allemão) A.C.Sm. (OLIVEIRA; COELHO; DIÓGENES, 2020), *Caesalpinia ferrea* (OLIVEIRA et al., 2014), *Pterodon polygalaeflorus* (BELINELO et al., 2009), *Piptadenia moniliformis* Benth. (SILVA et al., 2021), *Erythrina velutina* Willd. (OLIVEIRA et al., 2016), *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis (HORA; SANTOS; MEIADO, 2018), *Centrosema brasilianum* (L.) Benth. (MAIA et al., 2013) e *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (MEDEIROS et al., 2018), entre outras.

A investigação dos mecanismos alelopáticos nessas espécies fornece subsídios importantes para a otimização de sistemas de cultivo e a melhoria de práticas agrícolas (FUJII, 2003). A identificação e caracterização dos aleloquímicos e a compreensão de seus modos de ação possibilitam a seleção de leguminosas com maior eficácia, seja para o controle biológico de plantas daninhas ou para a promoção do crescimento de culturas de interesse econômico (ADLER; CHASE, 2007). Além disso, tais compostos podem ser isolados para o desenvolvimento de bioherbicidas ou bioestimulantes, tecnologias mais seguras e ambientalmente adequadas para o setor agrícola (REGINATTO et al., 2020; BEDNARZ; PLONKA; BARCHANSKA, 2023).

Portanto, os estudos alelopáticos em Fabaceae contribuem para a inovação na agricultura ao revelar as complexas interações químicas que ocorrem no solo e entre as plantas (LI et al., 2024; XUAN et al., 2025). O uso consciente desse conhecimento fortalece a produtividade agrícola ao mesmo tempo em que preserva a fertilidade do solo e a biodiversidade (YANG et al., 2023; SCHULZ; TABAGLIO, 2025).

2.6. Alelopatia em decomposição foliar no controle de espécie invasora

Em meio à complexidade dos ecossistemas, as interações entre as plantas desempenham um papel crucial na determinação da estrutura e composição da vegetação (CALLAWAY; WALKER, 1997; HOLMGREN; SCHEFFER; HOUSTON, 1997; SOTOMAYOR; FILAZZOLA; LORTIE, 2021). Entre essas interações, ocorre a alelopatia a partir da decomposição dos materiais vegetais (ALVES et al., 2019; SILVA et al., 2021b), processo natural promissor para o controle de espécies invasoras, pois explora a química da natureza para restaurar o equilíbrio ecológico (HEPP; DELANORA; TREVISAN, 2009).

A decomposição foliar pode liberar aleloquímicos no solo, que por sua vez, podem inibir a germinação e crescimento de espécies vegetais, entre as quais plantas invasoras (ALVES et al., 2019). Este processo natural atua como uma barreira química e eficaz, pois pode dificultar o estabelecimento de espécies que competem por recursos com elementos da flora nativa (LATIF; CHIAPUSIO; WESTON 2017; NOGUCHI, 2024). Compreender a dinâmica desses compostos e suas concentrações no solo é fundamental para melhorar essa estratégia, podendo transformar a decomposição foliar em uma ferramenta ativa de controle biológico (DAVIS; YANNARELL, 2015; FADIJI et al., 2025).

Os estudos sobre a alelopatia na decomposição foliar abrem novas áreas para o manejo ecológico, oferecendo uma alternativa sustentável e de baixo impacto em comparação com os métodos convencionais, como o uso de herbicidas sintéticos (AIN et al., 2023; CHOU HARY et al., 2023). Essa abordagem não apenas evita a introdução de substâncias químicas potencialmente nocivas ao ambiente, mas também valoriza os processos biológicos naturais (AIN et al., 2023; BEDNARZ; PŁONKA; BARCHANSKA, 2023). A pesquisa nesse campo, portanto, não se limita apenas a identificar substâncias, mas compreender as complexas interações que ocorrem nos tipos vegetacionais e os mecanismos intrínsecos de autorregulação presentes nos mesmos (CARVALHO; MARTINS, 2020; KONG et al., 2024).

A aplicação prática dos princípios da alelopatia por meio da decomposição foliar no controle de espécies invasoras representa um avanço relevante para a ecologia da restauração (LOPES et al., 2018). Ao simular esse processo em ambientes degradados, é possível criar condições menos favoráveis ao estabelecimento e à proliferação de espécies exóticas invasoras (LOPES et al., 2018). O uso da decomposição como estratégia aliada no controle biológico dessas espécies aponta para um futuro com práticas de manejo ambiental mais integradas e

sustentáveis (XU; CHEN; KONG, 2023). No entanto, o principal desafio ainda reside na identificação das espécies vegetais doadoras mais eficazes para este propósito.

2.7. Alelopatia e aspectos anatômicos

Diversos estudos relacionam os efeitos dos aleloquímicos a mudanças estruturais em plântulas (RODRIGUES et al., 2009; PEREIRA et al., 2013; RIBEIRO et al., 2015; FEITOZA et al., 2018; FEITOZA et al., 2020; ALCÂNTARA et al., 2023; FONTOURA et al., 2024). A germinação e o crescimento da radícula, marcam o início da interação direta com o solo, e é nesse momento que as primeiras células especializadas, como os tricomas radiculares, começam a se formar (VISSENBERG; FRY; VERBELEN, 2001; NIEUWLAND et al., 2016). Esses tricomas não apenas aumentam a área de absorção de água, mas também podem ser locais de secreção de compostos alelopáticos (LOHSE et al., 2022). A análise de cortes transversais da raiz e do caule de plântulas de *Harrisia adscendens* (Gurke) Britton & Rose, *Melocactus x horridus* Werderm., *Melocactus zenhtneri* (Britton & Rose) Luetzelb., *Tacinga inamoena* (K.Schum.) N.P.Taylor & Stuppy, *Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy, revela o desenvolvimento precoce de canais secretores e estruturas glandulares que armazenam e expelem essas substâncias (ARRUDA; MELO-DE-PINNA; ALVES, 2005). Essa diferenciação anatômica inicial é uma adaptação fundamental que permite à planta garantir seu espaço antes que a competição se intensifique (PEREIRA; SECORUM, 2007).

Pesquisas demonstram que compostos fitoquímicos podem interagir com hormônios vegetais, como auxinas, giberelinas e citocininas, afetando processos como o crescimento e o desenvolvimento de raízes laterais (BAZIRAMAKENGA et al., 1997; DAYAN; ROMAGNI; DUKE, 2000; ALCÂNTARA et al., 2023). A auxina, por exemplo, é essencial para o desenvolvimento e crescimento dos pelos radiculares (LOMBARDO et al., 2006), e alterações no sistema enzimático podem levar a desequilíbrios hormonais, possivelmente relacionados à ação dos aleloquímicos no metabolismo vegetal (KRASUSKA et al., 2016).

2.8. Alelopatia x Citogenética

A identificação de substâncias com potencial citotóxico e genotóxico é essencial para compreender os impactos que esses compostos podem causar nos organismos (BORGES et al.,

2011). A avaliação da citotoxicidade é realizada por meio da detecção de alterações no processo de divisão celular em organismos-teste, observando-se, por exemplo, a inibição do índice mitótico e a ocorrência de mutações cromossômicas, como quebras de cromátides, perda de cromossomos inteiros ou formação de micronúcleos (SOUZA et al., 2005).

Tedesco e Laughinghouse (2012) asseveram que estudos citogenéticos em plantas revelam que substâncias mutagênicas, presentes na composição ou geradas pelo metabolismo, podem provocar alterações cromossômicas. Tais mutagênicos podem ser identificados por efeitos como inibição da divisão celular, interrupção na metáfase e indução de aberrações cromossômicas, tanto numéricas quanto estruturais, que vão desde a fragmentação dos cromossomos até a desorganização do fuso mitótico, afetando todas as fases subsequentes da mitose. Os estudos mencionados acima, destacam a importância de avaliar os efeitos citotóxicos e genotóxicos de substâncias presentes em extratos vegetais, uma vez que elas podem interferir significativamente no processo de divisão celular e no desenvolvimento dos organismos. A compreensão desses mecanismos é crucial para o planejamento de estratégias de manejo e conservação.

2.9. *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis

Cenostigma pyramidale (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis, popularmente conhecida como "catingueira", "catinga-de-porco" ou "pau-de-rato", é uma espécie de Fabaceae, possui porte médio, e é amplamente distribuída na região Semiárida do Nordeste brasileiro (WARWICK; LEWIS 2009; SILVA, 2024), sendo encontrada em diferentes ambientes sendo uma espécie relevante no que diz respeito ao processo de sucessão ecológica (RIBEIRO et al., 2021).

A propagação da catingueira ocorre por meio de sementes, com a germinação ocorrendo entre uma e duas semanas (SANTOS et al., 2021). Devido à qualidade madeireira, é amplamente utilizada para a produção de lenha, carvão, estacas, mourões e na construção de casas de taipa (SANTOS et al., 2020). No âmbito da medicina popular, suas folhas, flores e cascas são utilizadas no tratamento de infecções respiratórias, diarreia, hepatite e anemia, além de ser utilizada no tratamento de verminoses de animais domésticos (GOMES; BANDEIRA, 2012).

Diversos estudos demonstram que *C. pyramidale* é rica em metabólitos secundários de diferentes classes, como flavonoides, fenóis, taninos, terpenos e biflavonoides (BAHIA et al.,

2005, 2010). Esses compostos possuem propriedades alelopáticas reconhecidas, o que torna a espécie particularmente interessante para estudos mais aprofundados sobre alelopatia.

2.10. *Azadirachta indica* A. Juss

Azadirachta indica A. Juss da família Meliaceae popularmente conhecida como nim indiano, é uma árvore originária da Índia e amplamente cultivada nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (ALZOHAIKY, 2016). Se desenvolve bem em ambientes com temperaturas acima de 20°C, precipitação anual entre 400 e 800 mm e altitudes superiores a 700 m (NOVAES, 2014).

O uso de *Azadirachta indica* tem se intensificado significativamente no cenário econômico, uma vez que extratos obtidos de suas cascas, folhas e sementes são amplamente utilizados na produção de medicamentos e pesticidas (MENEZES et al., 2021; LIMA; SILVA, 2022; MELO et al., 2022). No entanto, é importante destacar que essa espécie apresenta atividade alelopática sobre diversas plantas nativas (SILVA et al., 2018; SILVA et al., 2021b; NASCIMENTO et al., 2024; SILVA et al., 2022), o que representa um risco ecológico, especialmente por se tratar de uma planta exótica invasora em várias regiões do Brasil. Biomas como o Cerrado e a Caatinga apresentam maior suscetibilidade à sua invasão (SANTOS; FABRICANTE, 2020; MOTA et al., 2021), o que pode contribuir para a descaracterização dos mesmos.

Em ambientes de Caatinga, essa espécie apresenta comportamento invasor, estabelecendo-se com facilidade e competindo diretamente com a flora nativa (SANTOS; FABRICANTE, 2020). (NOGUCHI et al., 2014; SANTOS; FABRICANTE, 2020). Esses efeitos químicos, aliados à sua alta taxa de reprodução e à ausência de inimigos naturais significativos na Caatinga, reforçam o caráter invasor da espécie (SAMPAIO; SCHMIDT, 2013). A consequência é uma perda gradual da diversidade estrutural e funcional do ecossistema, comprometendo serviços ecossistêmicos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, a manutenção da fauna associada e a resiliência do bioma frente às mudanças climáticas (MORO; WESTERKAMP; MARTIN, 2013).

3. REFERÊNCIAS

- ADLER, M. J.; CHASE, C. A. Comparison of the allelopathic potential of leguminous summer cover crops: Cowpea, sunn hemp, and velvetbean. **HortScience**, v. 42, n. 2, p. 289-293, 2007.
- ALMEIDA, G. D.; ZUCOLOTO, M.; CALDAS ZETUN, M. C.; COELHO, I.; MOREIRA SOBREIR, F. M. Estresse oxidativo em células vegetais mediante aleloquímicos. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 61, n.1, p. 4237-4247, 2008.
- ALCÂNTARA, B. M.; ANTUNES, D. F.; SILVA, J. A. S.; SANTOS, F. R.; SILVA, C. L. P.; SILVA, C. T. G.; NASCIMENTO, M. P.; DANTAS, A. R.; COSTA, J. G. M.; JUNIOR, F. N. P.; SANTOS, M. A. F.; SILVA, D. C.; SILVA, M. A. P. Phytotoxic potential and chemical composition of *Commelina benghalensis* L. (Commelinaceae) on *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunth ex DC. (Fabaceae). **South African Journal of Botany**, v. 163, p. 531-540, 2023.
- ALTIERI, M. A.; LANA, M. A.; VON HERTWIG BITTENCOURT, H.; VENTURI, M.; DOS SANTOS KIELING, A.; COMIN, J. J., LOVATO, P. E. Aumento do rendimento dos cultivos através da supressão de plantas espontâneas em sistemas de plantio direto orgânico em Santa Catarina, Brasil. **Agroecología**, v. 7, n.1, 2012.
- ALVES, R. M.; SILVA, M. A. D.; SILVA, J. N.; COSTA, R. S.; LIMA S., B. K.; SILVA L. E. Efeito alelopático de *Libidibia ferrea* Mart. sobre o vigor das sementes de feijão-caupi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n.3, p, 476-479, 2019.
- ALVES, R. M.; SILVA, M. A. D.; SILVA, J. N.; SILVA, E. F.; MIRANDA, P. H. O. Serrapilheira de *Libidibia ferrea* no estabelecimento de plântulas de milho: *Libidibia ferrea* litter on maize seedling establishment. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 7-7, 2023.
- ALZOHAIKY, M. A. Therapeutics role of *Azadirachta indica* (Neem) and their active constituents in diseases prevention and treatment. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p. 7382506, 2016.

- ARAUJO, H. F.; CANASSA, N. F.; MACHADO, C. C.; TABARELLI, M. Human disturbance is the major driver of vegetation changes in the Caatinga dry forest region. **Scientific Reports**, v.13, n.1, 2023.
- ARRUDA, E., MELO-DE-PINNA, G. F., ALVES, M. Anatomy of the vegetative organs of Cactaceae of the caatinga from Pernambuco. **Brazilian Journal of Botany**, v. 28, p. 589-601, 2005.
- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; MATSUMOTO, M.; FONSECA, C. R. Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n.10, p. 2064-2074, 2020.
- AIN, Q.; MUSHTAQ, W.; SHADAB, M.; SIDDIQUI, M. B. Allelopathy: an alternative tool for sustainable agriculture. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 29, n. 4, p. 495-511, 2023.
- BAHIA, M. V.; SANTOS, J. B. D.; DAVID, J. P.; DAVID, J. M. Biflavonoids and other phenolics from *Caesalpinia pyramidalis* (Fabaceae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, p. 1402-1405, 2005.
- BAHIA, M. V.; DAVID, J. P.; DAVID, J. M. Occurrence of biflavones in leaves of *Caesalpinia pyramidalis* specimens. **Química Nova**, v. 33, p. 1297-1300, 2010.
- BARRETO, S. F.; GASPI, F. O. G.; OLIVEIRA, C. F. Estudo químico das principais vias do metabolismo secundário vegetal: uma revisão bibliográfica. **Revista Científica da Fundação Hermínio Ometto**, v. 8, n. 1, p. 60-73, 2020.
- BAZIRAMAKENGA, R.; LEROUX, G. D.; SIMARD, R. R.; NADEAU, P. Allelopathic effects of phenolic acids on nucleic acid and protein levels in soybean seedlings. **Canadian Journal of Botany**, v. 75, p. 445-450, 1997.
- BELINELO, V.J.; FILHO, S.A.V.; ALMEIDA, M.S.; FERREIRA-ALVES, D.L.; PILÓ-VELOSO, D. Potencial Fitotóxico de *Pterodon polygalaeflorus* Benth (Leguminosae) sobre *Acanthospermum australe* (Loefl.) O. Kuntze e *Senna occidentalis* (L.) Link. **Revista Caatinga**, v.22, n.4, p.108-115, 2009.

BEZERRA, A. M.; LAZAR, A.; BONVICINO, C. R.; CUNHA, A. S. Subsidies for a poorly known endemic semiarid biome of Brazil: non-volant mammals of an eastern region of Caatinga. **Zoological Studies**, v. 53, n. 1, p. 16, 2014.

BERGALLO, H. G.; SILVEIRA FILHO, T. B.; ZILLER, S. R. Primeira lista de referência de espécies exóticas invasoras no estado do Rio de Janeiro-Brasil: implicações para pesquisas, políticas e manejo. **Bioinvasões**, v. 8, p. 3-18, 2021.

BEDNARZ, M. K.; PŁONKA, J.; BARCHANSKA, H. Allelopathy as a source of bioherbicides: challenges and prospects for sustainable agriculture. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 22, n. 2, p. 471-504, 2023.

BORGES, L. P.; AMORIM, V. A. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, p. 54-67, 2020.

BORGES, C. S.; CUCHIARA, C. C.; SILVA, S. D. A.; BOBROWSKI, V. L. Efeitos citotóxicos e alelopáticos de extratos aquosos de *Ricinus communis* utilizando diferentes bioindicadores. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, n. 3, p. 15-20, 2011.

BRANCO, S. B.; SILVEIRA, C. B. D.; CAMPOS, M. L.; GATIBONI, L. C.; MIQUELLUTI, D. J. Atributos químicos do solo e lixiviação de compostos fenólicos após adição de resíduo sólido alcalino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 543-550, 2013.

BROOKER, R. W. et al. Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. **Journal of ecology**, p. 18-34, 2008.

CALLAWAY, R. M.; WALKER, L. R. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. **Ecology**, v. 78, n. 7, p. 1958-1965, 1997.

CARVALHO, S. A.; MARTINS, M. L. Community structures in allelopathic interaction networks: An ecoevolutionary approach. **Physical Review**, v. 102, n.4, 2020.

CARVALHO, J. N. D.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; RODRIGUES, R. G.; FONTANA, A. P.; PIFANO, D. S. Espécies nativas da caatinga para recuperação de áreas degradadas no semiárido brasileiro. **Revista Árvore**, v. 46, p. 4610, 2022.

COELHO, L.C.S.; MIGNONI, D.S.B.; BARBEDO, C.J.; BRAGA, M. R. Seed leachates of the tropical legume *Sesbania virgata*: their effects on germination and seedling growth of tomato and rice. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, n. 96, p. 1-13, 2022.

CORSATO, J. M.; FORTES, A. M. T.; PORTO, E. C.; RIBEIRO, M. I.; FRUEHWIRTH, M. Estresse oxidativo mediado por aleloquímicos e suas implicações na germinação e crescimento inicial de plantas. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 5, n. especial, p. 136-150, 2016.

CREMONEZ, F. E., CREMONEZ, P. A., CAMARGO, M. P., FEIDEN, A. Principais plantas com potencial alelopático encontradas nos sistemas agrícolas brasileiros. **Acta Iguazu**, p. 70-88, 2013.

DAVIS, A. S., YANNARELL, A. C. Interactions between allelochemicals and the microbial community affect weed suppression following cover crop residue incorporation into soil. **Plant and Soil**, v. 399, n. 1, p. 357-371, 2015.

DAYAN, F. E.; ROMAGNI, J. G.; DUKE, S. O. Investigating the mode of action of natural phytotoxins. **Journal of Chemical Ecology**, v. 26, p. 2079-2094, 2000.

DUDAREVA, N.; KLEMPIEN, A.; MUHLEMANN, J. K.; KAPLAN, I. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. **New Phytologist**, v. 198, n. 1, p. 16-32, 2013.

FADIJI, A. E.; ADENIJI, A.; LANREWAJU, A. A.; BABALOLA, O. O. Dynamics of soil microbiome and allelochemical interactions: an overview of current knowledge and prospects. **Annals of Microbiology**, v. 75, n. 1, p. 21, 2025.

FEITOZA, R.B.B.; LIMA, H.R.P.; OLIVEIRA E.A.G.; OLIVEIRA, C. D. R. D.; MORAES L.F.D.; OLIVEIRA, E. A. F.; CARVALHO, M.G. Structural and ultrastructural variations in roots of *Calopogonium mucunoides* Desv. treated with phenolic compounds from *Urochloa humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga and phenolic commercial standards. **South African Journal of Botany**, v. 116, p. 142-149, 2018.

FEITOZA, R. B. B.; VARELA, R. M.; TORRES, A.; MOLINILLO, J. M. G.; LIMA, H. R. P.; MORAES, L. F. D.; CUNHA, M.; MACIAS, F. A. Evaluation of the Phytotoxicity

of *Urochloa humidicola* Roots by Bioassays and Microscopic Analysis. Characterization of new compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 17, p. 4851-4864, 2020.

FELIX, R. A. Z.; ONO, E. O.; DA SILVA, C. P.; RODRIGUES, J. D.; DE PIERI, C. Efeitos Alelopáticos da *Amburana cearensis* L. (Fr.All.) A.C. Smith na Germinação de Sementes de Alface (*Lactuca sativa* L.) e de Rabanete (*Raphanus sativus* L.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 138-140, 2007.

FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, ed. especial, p. 175-204, 2000.

FONTOURA, F. M.; SOUZA, L. R. R.; DE OLIVEIRA, A. K. M.; OPPLIGER, E. A.; DALMAGRO, H. J. Estudo químico, morfoanatômico, atividade antioxidante e potencial alelopático de *Sida santaremnensis* Monteiro. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 28, n. 5, p. 567-572, 2024.

FUMAGALI, E.; GONÇALVES, R. A. C.; MACHADO, M. D. F. P. S.; VIDOTI, G. J.; OLIVEIRA, A. J. B. D. Produção de metabólitos secundários em cultura de células e tecidos de plantas: O exemplo dos gêneros *Tabernaemontana* e *Aspidosperma*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 18, p. 627-641, 2008.

FUJII, Y. Allelopathy in the natural and agricultural ecosystems and isolation of potent allelochemicals from Velvet bean (*Mucuna pruriens*) and Hairy vetch (*Vicia villosa*). **Biological Sciences in Space**, v. 17, n.1, p. 6-13, 2003.

HOLL, K. D. **Fundamentos da restauração ecológica**. CopIt ArXives, 184p, 2023.

GOMES, T. B.; BANDEIRA, F. P. S. F. Uso e diversidade de plantas medicinais em uma comunidade quilombola no Raso da Catarina, Bahia. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 796-809, 2012.

GUASCONI, D.; MANZONI, S.; HUGELIUS, G. Climate-dependent responses of root and shoot biomass to drought duration and intensity in grasslands—a meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 903, p. 166-209, 2023.

HERCULANO, E. V.; SILVA, V. F.; BORGES, I. M. S.; FIRMINO, L. Q.; MENDONÇA, L. F. M.; MARTINS, M. S. Alocação de fitomassa e de água em mudas de espécie florestal da Caatinga submetida ao estresse hídrico. **Revista Geama**, v. 8, n. 3, p. 45-52, 2022.

HOLANDA, A. C. D.; FELICIANO, A. L. P.; FREIRE, F. J.; SOUSA, F. Q. D.; FREIRE, S. R. D. O.; ALVES, A. R. Aporte de serrapilheira e nutrientes em uma área de caatinga. **Ciência Florestal**, v. 27, n.2, p. 621-633, 2017.

HOLMGREN, M.; SCHEFFER, M.; HUSTON, M. A. The interplay of facilitation and competition in plant communities. **Ecology**, v. 78, n. 7, p. 1966-1975, 1997.

HORA, S. I.; SANTOS, C. S.; MEIADO, M. V. *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae) tem efeito alelopático sobre a germinação de sementes de *Pilosocereus gounellei* subsp. *gounellei* (Cactaceae)? **Informativo Abrates**, v. 28, n.1, 2018.

HEPP, L. U.; DELANORA, R.; TREVISAN, A. Compostos secundários durante a decomposição foliar de espécies arbóreas em um riacho do sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 23, 407-413, 2009.

IAS - INTERNATIONAL ALLELOPATHY SOCIETY. 2012. Constitution and bylaws. IAS -. Constitution and Bylaws. Disponível em < <http://www-ias.uca.es/bylaws>>. Acesso em: 15 maio 2025.

KRASUSKA, U.; ANDRZEJCZAK, O.; STASZEK, P.; BORUCKI, W.; GNIAZDOWSKA, A. Toxicity of canavanine in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) roots is due to alterations in RNS, ROS and auxin levels. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 103, p. 84-95, 2016.

KONG, C. H.; LI, Z.; LI, F. L.; XIA, X. X.; WANG, P. Chemically mediated plant–plant interactions: Allelopathy and allelobiosis. **Plants**, v. 13, n. 5, p. 626, 2024.

JONES, B. A.; MCDERMOTT, S. M. Health impacts of invasive species through an altered natural environment: assessing air pollution sinks as a causal pathway. **Environmental and Resource Economics**, v.71, n.1, p.23-43, 2018.

LATIF, S.; CHIAPUSIO, G.; WESTON, L. A. Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence. **Advances in botanical research**, v. 82, p. 19-54, 2017.

- LIMA, R. R.; SILVA, F. P. Nim (*Azadirachta indica*): uma abordagem sobre uso como inseticida natural. **Revista Científica ACERTTE**, v. 2, n. 10, p. e21099, 2022.
- LI, B.; ZHOU, E.; ZHOU, Y.; WANG, X.; WANG, K. Faba Bean Extracts Allelopathically Inhibited Seed Germination and Promoted Seedling Growth of Maize. **Agronomy**, v. 14, n.12, p. 2857, 2024.
- LOMBARDO, M. C.; GRAZIANO, M.; POLACCO, J. C.; LAMATTINA, L. Nitric oxide functions as a positive regulator of root hair development. **Plant Signaling & Behavior**, v. 1, n. 1, p. 28-33, 2006.
- LOPES, P. G.; OLIVEIRA, S. C. C.; SALLES, K. A.; SAMPAIO, A. B.; SCHMIDT, I. B. Allelopathy of a native shrub can help control invasive grasses at sites under ecological restoration in a Neotropical savanna. **Plant Ecology & Diversity**, v. 11, n.4, p. 527-538, 2018.
- LOHSE, M.; SANTANGELI, M.; STEININGER-MAIRINGER, T.; OBURGER, E.; REEMTSMA, T.; LECHTENFELD, O. J.; HANN, S. The effect of root hairs on exudate composition: a comparative non-targeted metabolomics approach. **Analytical and bioanalytical chemistry**, v. 415, n. 5, p. 823-840, 2022.
- MAIA, S.S.S.; COELHO, M.F.B.; OLIVEIRA, A.K.; DIÓGENES, F.É.P. Atividade biológica de extratos de espécies do Rio Grande do Norte em sementes de alface. **Revista Verde**, v. 8, n.4, p.169 - 173, 2013.
- MCCOY, R. M.; WIDHALM, J. R.; MCNICKLE, G. G. Allelopathy as an evolutionary game. **Plant Direct**, v. 6, n. 2, p. e382, 2022.
- MEDEIROS, J. D.; CORREIA, L. A.; SANTOS, F. A.; FERRARI, C. S.; PACHECO, M. V. Allelopathic potential of leaf extract of *Poincianella pyramidalis* (Tul.) LP Queiroz and *Mimosa tenuiflora* Willd. on germination of *Mimosa caesalpinifolia* Benth. seeds. **Revista de Ciências Agrárias**, p. 1036-1043, 2018.
- MELO, E.; MENDONÇA, C. M., NUNES, L.; ARAÚJO, Í. D. Atividade antimicrobiana da espécie *Azadirachta indica* A. Juss (Nim indiano) – uma revisão integrativa. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 4, 2022.

- MENEZES, R. M. S.; LIMA, J. R.; SANTOS, D. S.; SANTOS, J. C.; VIANA, A. C. Extraction, characterization, prospecting by GC-MS and bactericide effect of NEEM essential oil (*Azadirachta indica*). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, 2021.
- MIA, M. B.; SHAMSUDDIN, Z. H. Rhizobium as a crop enhancer and biofertilizer for increased cereal production. **African journal of Biotechnology**, v. 9, n. 37, p. 6001-6009. 2010.
- MIGNONI, D. S. B.; SIMÕES, K., BRAGA, M. R. Potential allelopathic effects of the tropical legume *Sesbania virgata* on the alien *Leucaena leucocephala* related to seed carbohydrate metabolism. **Biological invasions**, v. 20, n.1, p. 165-180, 2018.
- MININEL, F. J.; MININEL, S. M. X. Prospecção fitoquímica e atividade antioxidante de extratos das folhas de *Senna alata* (Fabaceae). **Revista Tópicos**, v. 3, n. 22, p. 1-14, 2025.
- MOLINA, A., REIGOSA, M. J., CARBALLEIRA, A. Release of allelochemical agents from litter, throughfall, and topsoil in plantations of *Eucalyptus globulus* Labill in Spain. **Journal of Chemical Ecology**, v. 17, n.1, p. 147-160, 1991.
- MORO, F. M.; WESTERKAMP, C.; MARTINS, F. R. Naturalization and potential impact of the exotic tree *Azadirachta indica* in North-eastern Brazil. **Check List**, v. 9, p. 153-156, 2013.
- MOTA, J. A. X., LEMOS, H. Á. F., FERREIRA, W. N., SILVA, M. A. M. Allelopathic effect of *Azadirachta indica* fresh leaves on the germination of native plants in the Seasonally Dry Tropical Forest. **Scientia Plena**, v.16, n.12, 2020.
- NASCIMENTO, L., FARIAS, M. H. B., LEITE, M. E., OLIVEIRA, J. F. Efeito alelopático do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) em plantas nativas da Caatinga. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 46, p. 245-266, 2024.
- NIEUWLAND, J.; STAMM, P.; WEN, B.; RANDALL, R. S.; MURRAY, J. A.; BASSEL, G. W. Re-induction of the cell cycle in the *Arabidopsis* post-embryonic root meristem is ABA-insensitive, GA-dependent and repressed by KRP6. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 23586, 2016.

NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P. D.; MARTINS, G. I.; MENEGETTI, A. M. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja (*Glycine max* L. Merrill) sob cobertura vegetal. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 461-465, 2009.

NOVAES, A. B.; SILVA, H. F.; OLIVEIRA SOUSA, G. T.; AZEVEDO, G. B. Qualidade de mudas de nim indiano produzidas em diferentes recipientes e seu desempenho no campo. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 155-164, 2014.

NOGUCHI, H.; SALAM, M. A.; OHNO, O.; SUENAGA, K. Nimbolide B and nimbic acid B, phytotoxic substances in neem leaves with allelopathic activity. **Molecules**, v. 19, n.6, p. 6929-6940, 2014.

NOGUCHI, K. H. Isolation and identification of allelochemicals and their activities and functions. **Journal of Pesticide Science**, p. 49, n. 1, p. 1-14, 2024.

OLIVEIRA, A.K.; COELHO, M.F.B.; DIÓGENES, F.E.P. Allelopathic activity of *Amburana cearensis* seed extracts on Melon emergence. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 274 – 280, 2020.

OLIVEIRA, A. K.; COELHO, M.F.B.; DIÓGENES, F.E.P.; FILHO, SEBASTIÃO M.; MAIA, S.S.S. Allelopathic potential of *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *ferrea*. **Journal of Global Biosciences**, v.3, n.1, p. 274-279, 2014.

OLIVEIRA, A. K. D.; COELHO, M. D. F. B.; MAIA, S. S. S.; DIÓGENES, F. E.; MEDEIROS FILHO, S. Alelopatia de extratos de diferentes órgãos de mulungu na germinação de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 480-483, 2012.

OLIVEIRA, A. K. D.; COELHO, M.F.B.; TORRES, S.B.; DIÓGENES, F.E.P. Alelopatia de extratos de espécies da caatinga sobre sementes de meloeiro. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37 n. 2 p. 557-566, 2016.

OLIVEIRA, A. K. D.; DIÓGENES, F. É. P.; COELHO, M. D. F. B.; MAIA, S. S. S. Alelopatia em extratos de frutos de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart. - Rhamnaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 1186-1189, 2009.

OLIVEIRA, S. C. C.; GUALTIERI, S. C. J.; MACÍAS DOMÍNGUEZ, F. A.; GONZALÉZ MOLINILLO, J. M. VARELA MONTOYA, R. Estudo fitoquímico de folhas de *Solanum*

lycocarpum A. St.-Hil (Solanaceae) e sua aplicação na alelopatia. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 607-618, 2012.

OLIVEIRA, M. N. S.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; RIBEIRO, L. M.; LOPES, P. S. N.; GUSMÃO, E., DIAS, B. A. S. Efeitos alelopáticos de seis espécies arbóreas da família Fabaceae. **Revista Unimontes Científica**, v. 7, n. 2, p. 121-128, 2005.

OLIVEIRA, Y. R.; SILVA, P. H.; ABREU, M. C.; LEAL, C. B.; OLIVEIRA, L. P. Potencial alelopático de espécies da família Fabaceae Lindl. Ensaios e Ciência: **Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 24, n.1, p. 65-74, 2020.

PAGARE, S.; BHATIA, M.; TRIPATHI, N.; PAGARE, S.; BANSAL, Y. K. Secondary Metabolites of Plants and Their Role: Overview. **Current Trends in Biotechnology and Pharmacy**, v. 9, n. 3, p. 293-304, 2015.

PARENTE, K. M.; SILVA, L. S.; MOURÃO, E. B. Efeito alelopático de extratos de ramos jovens de *Croton sonderianus* muell. arg., euphorbiaceae, na germinação de *Lactuca sativa* L. **Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA**, v. 16, n.1, 2014.

PARROTTA, J. A., CHATURVEDI, A. N. *Azadirachta indica* A. Juss. Neem, margosa. Meliaceae. Mahogany family. **USDA Forest Service**, SO-ITF-SM-70, p. 1-8, 1994

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

PEREIRA, A. P. C.; SECORUN, A. C. Estrutura e adaptação das plântulas. **Revista Uningá**, v. 12, n.1, 2007.

PEREIRA, M. P.; PEREIRA, F. J.; ALMEIDA RODRIGUES, L. C.; BARBOSA, S.; CASTRO, E. M. Fitotoxicidade do chumbo na germinação e crescimento inicial de alface em função da anatomia radicular e ciclo celular. **Revista Agro@ mbiente**, v.7, n. 1, p. 36-43, 2013.

PINTO, É. D. N. F.; SOUTO, J. S.; LEONARDO, F. D. A. P.; BORGES, C. H. A.; BARROSO, R. F.; MEDEIROS, A. C. Crescimento de plântulas de alface, *Lactuca sativa* L.,

em solo oriundo de um povoamento de *Luetzelburgia auriculata*, Allemão, Ducke. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 33-38, 2016.

PUTNAM, A. R., DUKE, W. B. Allelopathy in agroecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 16, p. 431-451, 1978.

QUEIROZ, L. P. Leguminosas da Caatinga. Feira de Santana: UEFS, 2009

REGINATTO, M.; DA SILVA BONOME, L. T.; GIOVANETTI, L. K.; VON HERTWIG BITTENCOURT, H.; TORMEN, L.; CONCEIÇÃO, P. C. Allelopathic potential from cover crops aqueous extract on weeds and maize. **Research, Society and Development**, v. 9, n.10, 2020.

RIBEIRO, I. M. C.; ARRUDA, E. C. P. D.; OLIVEIRA, A. F. M. D.; ALMEIDA, J. S. D. Physical and chemical defenses of *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae): a pioneer species in successional caatinga areas. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 2, p. 398-409, 2021.

RIBEIRO, R. C.; FEITOZA, R. B. B.; LIMA, H. R. P.; CARVALHO, M. G. Phytotoxic effects of phenolic compounds on *Calopogonium mucunoides* (Fabaceae) roots. **Australian Journal of Botany**, v. 63, p. 679-686, 2015.

RIBEIRO, V. M.; FORTES, A. M. T.; CORSATO, J. M.; MEIRA, R. O.; DE MENDONÇA, L. C.; CASSOL, F. D. R. Alelopatia de *Leucaena leucocephala* e *Hovenia dulcis* em mudas de *Mimosa bimucronata* e *Peltophorum dubium*. **Ambiência**, v. 14, p. 649-661, 2018.

RICE, E. L. **Allelopathy**. Academic Press, Cambridge, 2012.

RICE, E.L. **Allelopathy**. 2nd Edition, Academic Press, New York, 422p, 1984.

RIZZARDI, A. **Potencial de genótipos de canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) na supressão de plantas daninhas**. 2007. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) -Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

RODRIGUES, M. D. P.; SANTOS LEANDRO, C.; SILVA, A. K. F.; ALMEIDA-BEZERRA, J. W.; SILVA, D. L.; SOUZA, M. A.; SILVA, M. A. P. Potencial alelopático de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae) sobre a germinação e desenvolvimento de plantas daninhas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, 2021.

RODRIGUES, I. M. C.; SOUZA FILHO, A. P. D. S.; FERREIRA, F. A.; ILKIU-BORGES, F.; GURGEL, E. S. C. Anatomia e histoquímica das folhas de *Senna alata*. **Planta Daninha**, v. 27, p. 515-526, 2009.

ROSADO, L. D. S.; RODRIGUES, H. C. A.; PINTO, J. E. B. P.; CUSTÓDIO, T. N.; PINTO, L. B. B.; BERTOLUCCI, S. K. V. Alelopatia do extrato aquoso e do óleo essencial de folhas do manjerição "Maria Bonita" na germinação de alface, tomate e melissa. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11, p. 422-428, 2009.

SAMPAIO, A. B.; SCHMIDT, I. B. Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 3, n.2, p. 32-49, 2013.

SANTOS, W. D. S.; BAKKE, O. A.; SANTOS, W. D. S.; SILVA, A. D. A.; JUSTINO, S. T. P. Produção de lenha e forragem de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) LP Queiroz submetida à poda anual. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 89-103, 2020.

SANTOS, G.; FABRICANTE, J. R. Potencial de invasão biológica do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) no Nordeste brasileiro. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 7-12, 2020.

SANTOS, W. R.; DE SOUZA, M. A. G.; DE SOUZA, L. S. B.; JÚNIOR, G. D. N. A.; SOUZA, C. A. A. Emergência e a forma inicial de plântulas de *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae) sob estresse salino. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e18910514870, 2021.

SCHREINER, O.; REED, H. S. The toxic action of certain organic plant constituents. **Botanical Gazette**, v. 45, n. 2, p. 73-102, 1908.

SCHULZ, M.; TABAGLIO, V. Allelopathy: Mechanisms and applications in regenerative agriculture. **Plants**, v. 13, n. 23, p. 3301, 2025.

SILVA, V; ALMEIDA-BEZERRA, J. W; BRITO, E. S; RIBEIRO, P. R. V; CORDEIRO, L. S; JÚNIOR, J. T. C; COSTA, J. G. C; SILVA, M. A. P. Effect of decomposition of leaves of *Azadirachta indica* A. Juss. on germination and growth of *Myracrodruon urundeuva* Allemão. **South African Journal of Botany**, v. 142, p. 42-52, 2021b.

SILVA, C. L. C.; ALMEIDA, G. D. O.; PINTO, A. D. V. F.; RODAL, M. J. N.; FERREIRA, W. N.; SILVA, M. A. M. Does the presence of exotic species decrease the initial development of native species in Brazilian seasonally dry tropical forests? **Acta Botanica Brasilica**, 36, e2021, 2022.

SILVA, J. A. D.; BEZERRA, J. E. F.; GOMES, A. C.; BARBOSA, F. M.; LACERDA, A. V. D. Phenological Behavior of *Cenostigma pyramidale* (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis in an Area of Caatinga in the Semi-Arid Region of Paraíba. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 67, p. e24230723, 2024.

SILVA, S. F.; COSTA, H. S. L.; VIANA, J. S.; MEDEIROS FILHO, S. Phytotoxicity of exotic species on the physiological potential of crambe seeds (*Crambe abyssinica* Hochs). **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 12, n. 1, p. 89-95, 2018.

SILVA, M. A. D.; SILVA, J. N.; ALVES, R. M.; GONÇALVES, E. P.; SILVA VIANA, J. Alelopatia de espécies da Caatinga. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021a.

SILVA, J. N.; SILVA, M. A. D.; ALVES, R. M.; SILVA, E. F. Allelopathic activity of *Piptadenia moniliformis* Benth. on the physiological potential of seeds of *Amburana cearensis* Allem. *Scientia Plena*, v. 17, n. 11, p.1-8, 2021.

SILVEIRA, P.F.; MAIA, S.S.S.; COELHO, M.F. B. Potencial alelopático do extrato aquoso de cascas de jurema preta no desenvolvimento inicial de alface. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 20-27, 2011.

SILVEIRA, P. F.; MAIA, S. S. S.; COELHO, M. F. B. Potencial alelopático do extrato aquoso de folhas de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. na germinação de *Lactuca sativa* L. **Biosciências**, v.28, n. 3, p. 472-477, 2012.

SOUZA FILHO, A. P. da S. **A história das pesquisas em alelopatia no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 77p, 2023.

SOUZA, L. S.; VELINI, E. D.; MAIOMONI-RODELLA, R. C. S. Efeito alelopático de plantas daninhas e concentrações de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). **Planta daninha**, v. 21, p. 343-354, 2003.

SOUZA, S. A. M.; STEIN, V. C.; CATTELAN, L. V.; BOBROWSKI, V. L.; ROCHA, B. H. G. Utilização de sementes de alface e de rúcula como ensaios biológicos para avaliação do efeito citotóxico e alelopático de extratos aquosos de plantas medicinais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2005.

SOTOMAYOR, D. A.; FILAZZOLA, A.; LORTIE, C. J. Dominant plant facilitation can generate indirect competition in a South - American desert plant community. **Journal of Vegetation Science**, v. 32, n. 2, p. 13024, 2021.

TADAIESKI, H. T.; CIECILINSKY, J. T.; SILVA PIRES, Y. M. Potencial alelopático do extrato aquoso de *Kalanchoe laetivirens* sobre a germinação e crescimento de sementes de soja. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 12, n. 1, p. 1-15, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEDESCO, S. B.; LAUGHINGHOUSE IV, H. D. Bioindicator of Genotoxicity: The *Allium cepa* Test. In: **SRIVASTAVA, J. K. (Ed.). Environmental Contamination**. p. 137-156, 2012.

TROVÃO, D. M. D.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A. D.; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 307-311, 2007.

VIECELLI, C. A.; CRUZ-SILVA, C. T. A. Efeito da variação sazonal no potencial alelopático de Sálvia. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 39-46, 2009.

VIEIRA, V.; CRUZ, V.; SOARES, N.; SILVA, J.; ARAÚJO, E. Quimioterápicos antineoplásicos derivados de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, p. 444-461, 2020.

VERRUCK, S.; PRUDENCIO, E. S.; SILVEIRA, S. M. Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. In: **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, p. 111-124, 2018.

VISSENBERG, K.; FRY, S. C.; VERBELEN, J. P. Root hair initiation is coupled to a highly localized increase of xyloglucan endotransglycosylase action in *Arabidopsis* roots. **Plant Physiology**, v. 127, n. 3, p. 1125-1135, 2001.

- VIZZOTO, M.; KROLOW, A. C.; WEBER, G. E. B. Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância. **Documento: Embrapa Clima Temperado**, n. 316, p. 7-15, 2010.
- WARWICK, M. C.; LEWIS, G. P. A revision of *Cenostigma* (Leguminosae – Caesalpinioideae – Caesalpinieae), a genus endemic to Brazil. **Kew Bulletin**, v. 64, p. 135-146, 2009.
- WEIR, T. L.; PARK, S. W.; VIVANCO, J. M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 4, p. 472-479, 2004.
- WU, L.; WESTON, L. A.; ZHU, S.; ZHOU, X. Editorial: Rhizosphere interactions: root exudates and the rhizosphere microbiome. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1-4, 2023.
- XU, Y.; CHEN, X.; KONG, C. H. Allelopathy and allelochemicals in grasslands and forests. **Forests**, v. 14, n.3, p. 562, 2023.
- XUAN, T. D.; CHIEN, N. X.; KHANH, T. D.; VIET, T. D.; MINH, T. T. N. Advancements and Challenges in Allelopathy: a Global Perspective on Agricultural Practices. **Journal of Crop Health**, v.77, n.5, p.151, 2025.
- YANG, G.; ROY, J.; VERESOGLOU, S. D.; RILLIG, M. C. Soil biodiversity enhances the persistence of legumes under climate change. **New Phytologist**, v. 229, n. 5, p. 2945-2956, 2023.
- ZHANG, Z.; LIU, Y.; YUAN, L.; WEBER, E.; VAN KLEUNEN, M. Effect of allelopathy on plant performance: a meta-analysis. **Ecology Letters**, v. 24, n. 2, p. 348-362, 2021.
- ZHANG, X.; LIU, Z.; TIAN, N.; LUC, N. T.; ZHU, B.; BING, Y. Allelopathic effects of decomposed leaf litter from intercropped trees on rape. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, n. 6, p. 898-908, 2015.

4. CAPÍTULO 1: EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO FOLIAR DE *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis (FABACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Azadirachta indica* A. Juss. (MELIACEAE)

Manuscrito submetido a revista Anais da Academia Brasileira de Ciências

EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO FOLIAR DE *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G. P. Lewis (FABACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Azadirachta indica* A. Juss. (MELIACEAE)

José Anderson Soares da Silva

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil.

Email: joseandersoncdz@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8444-9726>

Bruno Melo de Alcântara

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil.

Email: brunomelo870@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1996-2424>

Mariana Pereira da Silva

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil.

Email: mariana.pereira@urca.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-3185-123X?lang=en>

Geane Gabriele de Oliveira Souza

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil.

Email: geane.souza@urca.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-2762-6691>

Marcos Aurélio Figueiredo dos Santos

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil.

Email: marcos.figueiredo@urca.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3409-5242>

José Galberto Martins da Costa

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil.

Email: galberto.martins@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4268-663X>

Maria Arlene Pessoa da Silva

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil.

Email: arlene.pessoa@urca.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8148-5350>

Autor correspondente: José Anderson Soares da Silva. Crato, 63105-000. Telefone: (88) 98811-7083. Email: jose.anderson@urca.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8444-9726>

RESUMO

A alelopatia exerce um importante papel na colonização de ambientes naturais por espécies exóticas, com potencial de invasoras, as quais podem gerar um grave problema ambiental, afetando negativamente espécies nativas da flora e fauna. Neste cenário *Azadirachta indica*, merece destaque sendo necessário compreender e mitigar os efeitos da invasão biológica causada por esta espécie. Dentre as espécies nativas com potencial alelopático, destaca-se *Cenostigma pyramidale*, rica em diterpenos e flavonoides, compostos reconhecidos por apresentarem atividade alelopática. Considerando tais aspectos, com este trabalho buscou-se avaliar o potencial alelopático da decomposição foliar de *C. pyramidale* sobre a germinação e crescimento de *A. indica*. Para simular o processo de decomposição, as folhas de *C. pyramidale* foram coletadas, misturadas ao solo da Caatinga em camadas intercaladas e postas a decompor durante 90 dias, nas concentrações de 21 g/kg (T1), 42 g/kg (T2) e 63 g/kg (T3). Foram analisadas: composição química do solo, composição química da espécie doadora, porcentagem de germinação (%), tempo de germinação de 50% (t_{50}), índice de velocidade de emergência (IVE) e sincronia, índice mitótico, alterações anatômicas comprimento do epicótilo, hipocótilo e das raízes, peso seco do epicótilo, hipocótilo e raízes, pigmentos fotossintéticos e área foliar. A análise de HPLC – DAD detectou compostos como pinacembrina, apigenina, narigenina, ácido cinâmico e ácido p-cumárico nas diferentes concentrações. Os resultados demonstraram que o aumento da concentração de folhas de *C. pyramidale* no solo resultou em efeitos negativos na germinação de *A. indica*, resultando em uma menor taxa germinativa nos tratamentos com maiores concentrações. Além disso, observou-se uma redução na espessura da epiderme da radícula, sugerindo alterações anatômicas que podem comprometer o desenvolvimento inicial da plântula. A área foliar também foi reduzida em todos os tratamentos, indicando que os compostos alelopáticos liberados durante a decomposição podem interferir na expansão foliar e consequentemente na capacidade fotossintética da planta. Os resultados deste estudo demonstraram que compostos liberados através da decomposição foliar de *C. pyramidale* promovem efeitos alelopáticos negativos sobre a germinação das sementes e crescimento inicial das plântulas, reforçando o papel ecológico da alelopatia na regulação das interações entre espécies nativas e exóticas/invasoras em ecossistemas, como a Caatinga. Estudos futuros devem investigar os mecanismos moleculares envolvidos nas interações observadas a fim de mitigar os impactos de *A. indica* sobre espécies nativas em ambientes naturais.

Palavras-chave: Alelopatia; Espécies invasoras; Espécies exóticas; Bioherbicidas; *Azadirachta*.

INTRODUÇÃO

A Caatinga, tipo vegetacional exclusivamente brasileiro, enfrenta um cenário alarmante de degradação impulsionado por intensas atividades humanas, como a agropecuária, resultando em significativa perda de habitats (Bezerra et al., 2014; Antongiovanni, 2020). O desequilíbrio observado neste ambiente favorece a proliferação de espécies invasoras, que ao competir por recursos, podem alterar as propriedades do solo e impactar negativamente a biodiversidade nativa (Araújo et al., 2023; Holl, 2023).

As interações interespecíficas, como a alelopatia, representam uma estratégia promissora para o manejo sustentável de ecossistemas (Carvalho et al., 2022). A alelopatia consiste na liberação de compostos químicos (aleloquímicos) no ambiente, os quais afetam o desenvolvimento de outras plantas. Estudos indicam que espécies nativas da Caatinga são fontes relevantes de aleloquímicos com potencial para suprimir o crescimento de espécies competidoras, inclusive invasoras (Oliveira et al. 2009; IAS 2012; Rodrigues et al. 2021). Esses compostos são liberados por volatilização, lixiviação, exsudação ou decomposição da matéria vegetal (Weir et al. 2004).

Comprovadamente a decomposição foliar se destaca como uma estratégia natural de regulação ecológica (Zhang et al. 2015; Ribeiro et al. 2018; Alves et al. 2023). O processo de decomposição de folhas de espécies nativas leva a liberação de aleloquímicos que podem suprimir a germinação e o crescimento de outras plantas, criando uma barreira contra a invasão biológica (Silva et al. 2021). Neste cenário, espécies nativas como *Cenostigma pyramidale* (catingueira), rica em diterpenos e flavonoides (Chaves et al. 2015; Chiocchetta & Tischer, 2022), metabólitos secundários reconhecidos por sua ação alelopática pode vir a se tornar uma espécie chave no controle das espécies exóticas com potencial de invasoras.

Por outro lado, *Azadirachta indica* (nim-indiano), espécie exótica, largamente cultivada no interior nordestino, representa uma séria ameaça caso venha a se tornar uma espécie invasora (Bergallo et al. 2021). Sua dispersão zoocórica, adaptabilidade a ambientes inóspitos e rápido crescimento, aliados a seu efeito alelopático sobre algumas espécies, facilita seu estabelecimento e causa impactos negativos na vegetação nativa (Valois & Oliveira 2005; Fabricante et al. 2017; Lima & Silva, 2022; Araújo et al. 2024).

Considerando os aspectos acima relatados, com este trabalho objetivou-se avaliar o potencial alelopático das folhas em decomposição de *C. pyramidale* sobre a germinação e o crescimento de *A. indica*, além de verificar seus efeitos na anatomia das plântulas e identificar

os metabólitos secundários liberados durante o processo de decomposição foliar em ambiente de Caatinga.

MATERIAL E MÉTODOS

Identificação do material botânico

Ramos reprodutivos de *C. pyramidale* (espécie doadora) e *A. indica* (espécie receptora) foram coletados em uma área de Caatinga, no município de Missão Velha, estado do Ceará, Brasil (Fig. 1). Após identificação, o material botânico foi depositado no Herbário Caririense Dárdano de Andrade-Lima – HCDAL, da Universidade Regional do Cariri – URCA, sob os números de herbário 16.978 e 15.162, respectivamente.

Folhas de *C. pyramidale* (Fig. 2) foram coletadas em setembro de 2023, período seco. Para a coleta das folhas foram selecionadas as que passaram por senescência natural ou que apresentavam coloração completamente amarelada e ao serem destacadas da planta adulta não apresentavam exsudação. As sementes de *A. indica*, foram coletadas no mesmo período e local visando a manutenção das condições naturais de ocorrência de ambas as espécies. Após a coleta das sementes o material foi armazenado em sacos de papel em temperaturas entre 23 e 25°C, até a realização dos testes, conforme o protocolo de Oliveira (2005).

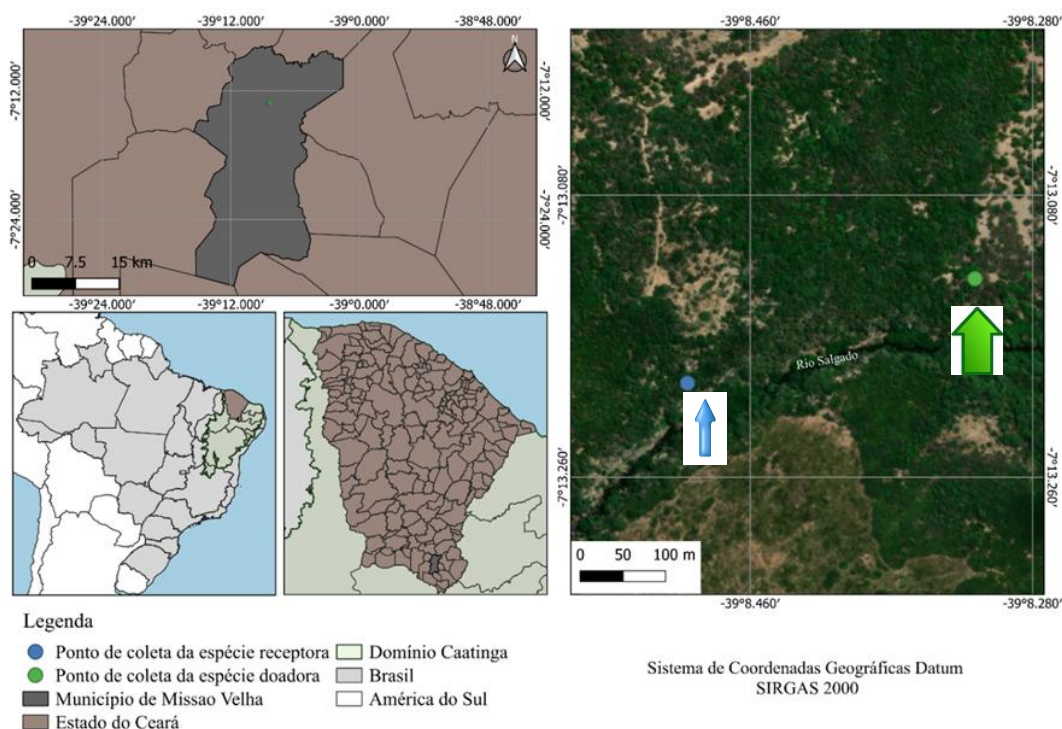


Figura 1. Locais de coleta de *Cenostigma pyramidale* (espécie doadora) e *Azadirachta indica* (espécie receptora) e do experimento de decomposição foliar. Missão Velha, Ceará, Brasil.



Figura 2. *Cenostigma pyramidale* no estágio de senescência em Missão Velha, Ceará, Brasil. (a) Folhas senescentes (serrapilheira), (b) Flores e frutos, (c) Detalhe das folhas.

Coleta do solo

O solo utilizado como substrato para o processo de decomposição foliar, foi coletado no horizonte A entre 10 a 20 cm de profundidade, na mesma área de Caatinga onde foi realizada a coleta das folhas de *C. pyramidale* e sementes de *A. indica*.

Decomposição foliar

Para simular a degradação, folhas de *C. pyramidale* foram misturadas ao solo em camadas intercaladas e colocadas para decompôr em sacos de organza nas concentrações de 21 (T1), 42 (T2) e 63 (T3) g/Kg da massa total do solo (p/p) (Huang et al. 2013, Silva et al. 2021). Para determinar a quantidade de folhas utilizadas para condução do experimento, foi realizado cálculo considerando a quantidade de folhas produzidas anualmente pela espécie doadora (Queiroz et al. 2019, Silva 2019).

Análise físico-química do solo

Após a decomposição o solo foi analisado quanto a presença de macro e micronutrientes. Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Fertilidade do Solo da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), Recife - PE, segundo a metodologia proposta pelo Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (Donagema et al. 2011).

Análise fitoquímica da espécie doadora

Preparação dos extratos

Os extratos foram produzidos de acordo com a metodologia proposta por Huang et al. (2013). Após o período de decomposição das folhas de *C. pyramidale*, o solo em todas as concentrações foi peneirado e submetidos à extração dos compostos com solventes orgânicos (hexano e etanol).

Os compostos apolares foram extraídos por meio de extração exaustiva, sendo utilizados 8 litros de n-hexano (1:2 p/v), misturados com quatro quilos de solo. Após o procedimento, os extratos foram mantidos ao abrigo da luz durante 96 horas. Após esse período, a mistura foi filtrada, para separação a parte líquida da parte sólida. Após o procedimento, a parte sólida foi posta para secar por um período de 48 horas e depois submetida

a extração com etanol utilizando o mesmo volume e período para a obtenção dos compostos polares. Após a filtração, os solventes foram condensados em rotoevaporador (modelo Q-344B, Quimis, Diadema, Brasil).

Prospecção química

A prospecção química foi verificada através da mudança de cor e/ou formação de precipitação por meio de cascatas de reações químicas após a adição de reagentes específicos segundo a metodologia proposta por Matos (2009), visando à identificação de possíveis constituintes presentes nos extratos. Para isso, foram realizados os testes de fenóis e taninos; antocianinas, antocianidinas, flavonas, flavonóis e xantonas, chalconas, auronas, flavononóis, leucoantocianidinas, catequinas, flavononas e alcaloides.

Flavonoides totais

A concentração total de flavonoides foi medida utilizando a técnica colorimétrica de cloreto de alumínio, seguindo a metodologia descrita por Kosalec et al. (2004) com adaptações. Alíquotas das amostras (100, 500 e 1000 µg/mL) foram adicionadas a 1 mL de AlCl₃ (15% aq.) e etanol (3,9 mL, 3,500 mL e 3 mL, respectivamente), perfazendo um volume final de 5 mL para cada concentração. As amostras foram incubadas à temperatura ambiente por 30 min e a absorbância foi lida em espectrofotômetro a 425 nm. Os experimentos foram realizados em triplicata e a quercetina foi utilizada como padrão para a curva de calibração, com o resultado expresso em miligramas-equivalentes de quercetina por gramas de extrato (mg QE/g).

Análise quantitativa por HPLC

Preparação de padrões

Foram preparadas soluções padrões para os sete ácidos fenólicos e flavonoides (Sigma Aldrich) investigados, a saber: ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, ácido cinâmico, naringenina, pinocembrina e apigenina. As soluções foram preparadas dissolvendo os padrões

em metanol grau HPLC (Agilent Tech., Germany) para produzir soluções estoque de 1000 ppm, que foram então usadas para preparar as soluções a concentrações de 1 a 50 ppm. As absorvâncias dos padrões de 20 ppm de cada ácido fenólico e flavonóide foi medida em comprimentos de onda 190 a 400 nm para encontrar o comprimento de onda ideal para as medições HPLC-DAD.

Análise em HPLC/DAD

A análise por HPLC dos ácidos fenólicos e flavonóides foi realizada utilizando um sistema HPLC Agilent 1260 (Agilent Tech., Germany), equipado com um UV-Vis DAD. A separação foi conduzida, por método gradiente, utilizando uma coluna cromatográfica C18 (250 mm x 4,6 mm x 5 μ m, Shimadzu, Shim-pack, Japão). As soluções padrões fenólicas e as misturas foram injetadas no sistema usando um autoinjeter. A fase móvel constituída por uma mistura de solvente sendo A (água ultrapura) e B (metanol:acetonitrila, 60:40, grau HPLC, Agilent Tech., Germany), ambas acidificadas com ácido fórmico 0,1% (Sigma Aldrich) utilizando o seguinte gradiente de eluição: 0- 20min: 30% B em A; 21 min: 50% B em A; 25 min: 50% B em A, 38 min: 60% B em A; 40 min: 100% B se mantendo nessa composição até 55 min. Os comprimentos de onda utilizados foram de 310 nm para ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico; 290 nm para ácido cinâmico, naringenina e pinocembrina; e 340 nm para apigenina. Foi utilizada taxa de fluxo da fase móvel de 0,5 mL/min e o volume de injeção de 20 μ L. As fases móveis e todas as soluções e amostras foram filtrados através de um filtro de membrana Millipore, diâmetro do filtro 13 mm, diâmetro do poro 0,22 μ m (millipore). As amostras foram dissolvidas em metanol grau HPLC (30 mg/mL). A quantificação foi realizada integrando os picos utilizando o método padrão externo. As análises foram conduzidas à temperatura ambiente e em triplicata, e os picos foram confirmados comparando o seu tempo de retenção com os das normas de referência e por espectros DAD (190 a 400 nm). As quantificações dos compostos foram baseadas em curvas analíticas das normas referenciais. O limite de detecção (LOD) e o limite de quantificação (LOQ) foram calculados com base no desvio padrão das respostas e na inclinação, utilizando três curvas analíticas independentes. LOD e LOQ foram calculadas como 3,3 e 10 σ /S, respectivamente, onde σ é o desvio padrão da resposta e S é o declive da curva de calibração.

Teste de germinação

As sementes foram desinfetadas com solução de hipoclorito de sódio a 5% durante 5 minutos e lavadas em água destilada pelo mesmo período. O teste de germinação foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Botânica Aplicada da Universidade Regional do Cariri em bandejas de polietileno com 200 células. O substrato utilizado foi o solo contendo material vegetal decomposto nas diferentes concentrações e o solo controle. As sementes foram distribuídas, uma em cada célula e umedecidas com 7 mL de água destilada de acordo com a capacidade de campo do solo (Brasil, 2009). O experimento foi montado em quadruplicatas com 25 sementes por repetições. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram emergência da radícula. Observações foram realizadas diariamente por um período de 15 dias. Foram feitas regas diárias, com intuito de manter a umidade do solo durante todo o experimento (Brasil, 2009). Ao final, foram calculadas a percentagem de germinação (%), tempo de germinação de 50% das sementes (t_{50}), índice de velocidade de emergência (IVE) e sincronia.

Para o cálculo da porcentagem de germinação foi utilizada a fórmula proposta por Labouriau e Valadares (1976). $G = (N/A) \cdot 100$, onde: G = germinabilidade; N = número de sementes germinadas; A = número total de sementes colocadas para germinar.

O índice de velocidade de emergência foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962). $IVE = (E1/N1) + (E2/N2) + (En/Nn)$, onde: E1, E2, En = número de plantas emergidas computadas na primeira, na segunda e na última contagem; N1, N2, Nn = número de dias após semeadura à primeira, segunda e última contagem.

O tempo de germinação de 50% das sementes foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Farooq et al. (2005). $t_{50} = t_i + [(N/2 - n_i)(t_j - t_i)/(n_j - n_i)]$, onde: N representa o número final de sementes germinadas e (n_i e n_j) é o número de sementes acumuladas que emergiram por contagens adjacentes nos tempos (t_i e t_j), respectivamente, quando $n_i < N/2 < n_j$.

A sincronia foi obtida através da fórmula descrita por Ranal e Santana, (2006). $E = -\sum f_i \cdot \log_2 F_i$, onde: f_i = frequência relativa de germinação e $\log_2$ = logaritmo da base 2.

Índice mitótico

Para a análise do índice mitótico, foram coletadas cinco radículas após a emergência do hipocótilo, por tratamento e grupo controle. As radículas foram fixadas em Carnoy (3:1, etanol:

ácido acético glacial) por duas horas e estocadas em freezer. Em seguida, as lâminas foram preparadas através da técnica de esmagamento proposta por Guerra e Souza (2002). A contagem das células foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Pires et al. (2001).

Alterações anatômicas

Para a análise anatômica foram utilizados caules jovens e raízes primárias, coletados 15 dias após a germinação. Os materiais foram fixados em FAA 50 por 48 horas e armazenados em etanol 70%, seguindo o protocolo de Johansen (1940). As secções anatômicas foram realizadas manualmente em pontos específicos (4 mm abaixo do colo para radículas e 4 mm abaixo dos cotilédones para caules). A coloração foi realizada com fucsina e azul astra (Roeser 1962), e as amostras foram montadas em gelatina glicerinada.

A análise microscópica foi realizada com um microscópio óptico (objetivas de 10×, 40× e 100×), acoplado ao software Motic (versão 3.0). Variáveis teciduais foram medidas incluindo a espessura da epiderme, córtex e sistema vascular com o objetivo de avaliar os efeitos de compostos alelopáticos sobre a morfologia interna da espécie receptora. As fotomicrografias dos cortes foram feitas em um microscópio óptico (modelo Zeiss AXIOSCOPE 5) com câmera acoplada (modelo AXIOCAN 208 Color).

Teste de crescimento

Foram definidas 30 repetições para cada tratamento (diferentes concentrações do extrato) e um grupo controle. Cada repetição correspondeu a uma célula da bandeja contendo uma plântula de *A. indica*. Após o plantio, as bandejas foram levadas para casa de vegetação, onde permaneceram por um período de dois meses. O experimento foi acompanhado diariamente e sempre que necessário, regado a fim de manter a umidade do solo.

Fim do período, plântulas de *A. indica* foram retiradas da casa de vegetação e levadas para o Laboratório de Botânica Aplicada. Após serem retiradas das bandejas e lavadas as raízes em água corrente para retirada do substrato aderido, foram avaliadas quanto ao crescimento, massa seca, área foliar e conteúdo de clorofila e carotenoides.

Os comprimentos das raízes e dos caules das plantas jovens de *A. indica* foram mensurados com o auxílio de uma régua graduada em milímetros. Para o comprimento do hipocótilo, as medições foram feitas da base do colo até o cotilédone, enquanto o epicótilo foi medido do cotilédone até o ápice da planta. A raiz foi medida da base do colo até a parte terminal, sendo os resultados expressos em milímetro.

Para a obtenção do peso seco, as raízes e partes aéreas (hipocótilo e epicótilo) foram separadas e colocadas em sacos de papel devidamente identificados, e em seguida colocados em estufa de circulação de ar a 105°C, onde permaneceram por um período de 30 minutos. Após esse período a temperatura foi alterada para 80 °C, com o material mantido por 24 horas, e posteriormente pesado em balança analítica de precisão (Huang et al. 2013). Para a análise da área foliar, foram selecionadas aleatoriamente oito plantas de cada repetição nos diferentes tratamentos e grupo controle. De cada planta, duas folhas foram destacadas, e a área foliar foi avaliada por meio de fotografias do material coletado, utilizando o software ImageJ.

A extração e quantificação do conteúdo de clorofila e carotenóides das folhas das plantas jovens de *A. indica* foi realizado segundo a metodologia proposta por Lichtenthaler e Wellburn (1983). As concentrações de clorofila a, b, total e carotenoides foram calculados conforme o método proposto por Porra et al. (1989).

Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada através da Análise de Variância (ANOVA) e comparação das médias através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa GraphPad Prism 6. A normalidades dos dados foram verificadas através dos testes de D'Agostino & Pearson, Shapiro-Wilk e teste KS. Os dados que não apresentaram normalidade foram analisados pelo teste de Kruskal-Wallis. Para a análise do índice mitótico, os dados foram ajustados por meio de regressão polinomial cúbica, permitindo modelar a relação não linear entre os tratamentos e controle.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises físico-químicas do solo

Os resultados indicam que a serrapilheira de *C. pyramidale* promoveu uma melhoria significativa na fertilidade do solo da Caatinga utilizado no experimento. O pH ácido (4,50) do controle, foi elevado para níveis neutros (7,00) nos tratamentos. Houve uma redução nos teores de alumínio (Al) e hidrogênio (H), como consequência, a saturação por alumínio (M) foi eliminada, caindo de 42% para 0% em todos os tratamentos. Paralelamente, houve um aumento expressivo na disponibilidade de macronutrientes, como o fósforo (P), que passou de 3 para 56 mg/dm³, e dos cátions cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K). Esses incrementos elevaram a soma de bases (S) e a saturação por bases (V) para até 96%, indicando uma condição de alta fertilidade do solo, sem acidez nem alumínio. O Tratamento 3 (T3) apresentou o mesmo desempenho do T2, indicando possível saturação, o aumento da dose de fósforo não trouxe benefício adicional (Tabela I). Desse modo a decomposição da matéria orgânica pode ter contribuído para a redução da acidez do solo por meio da complexação do alumínio e da neutralização de íons hidrogênio, resultante da transformação de ácidos orgânicos em CO₂ e água (Santos & Tomm 2003, Leite & Galvão 2008).

Tabela I. Características físico-químicas do solo da Caatinga em diferentes concentrações de serrapilheira de *Cenostigma pyramidale*.

Tratamentos	P mg/dm ³	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC	V	M
			-----Cmolc/dm ³ -----								---%---	
C	3	4,50	0,50	0,50	0,01	0,04	0,75	1,06	1,1	2,9	37	42
T1	14	5,90	1,65	0,60	0,02	0,31	0,00	0,74	2,6	2,6	78	0
T2	36	6,70	2,20	0,70	0,06	0,70	0,00	0,16	3,7	3,7	96	0
T3	56	7,00	2,20	1,00	0,04	0,50	0,00	0,16	3,7	3,7	96	0

*C = controle; Tratamento 1 (T1) = 21 g/kg, Tratamento 2 (T2) = 42 g/kg, Tratamento 3 (T3) = 63 g/kg; P- fósforo; pH- potencial de hidrogeniônico; Ca- cálcio; Mg- magnésio; Na- sódio; K- potássio; Al- alumínio; H- hidrogênio; S- soma de bases; CEC- capacidade de troca catiônica; V- capacidade de saturação de bases; M- saturação de alumínio.

Em ecossistemas terrestres, a decomposição foliar é um processo essencial para a ciclagem de nutrientes, representando a principal via de retorno de elementos minerais ao solo (Cronan 2018). Esse processo justifica o aumento nos teores de nutrientes observado neste estudo, especialmente nos tratamentos com adição de serrapilheira ao solo da Caatinga. A decomposição da matéria orgânica promove a liberação gradual de nutrientes, tornando-os

disponíveis para as plantas e demais organismos do solo, e contribuindo para a manutenção da fertilidade e do equilíbrio funcional do ecossistema (Chapin et al. 2011).

O aumento do teor de matéria orgânica no solo está associado a diversos benefícios, incluindo a elevação da soma de bases e da capacidade de troca catiônica (CTC), em razão da maior disponibilidade de cátions básicos, como cálcio, magnésio e potássio (Bot & Benites, 2005). Nos tratamentos com adição de serrapilheira de *C. pyramidale*, observou-se um aumento considerável no pH do solo, que variou de 5,9 a 7,0, em contraste com o valor de 4,5 registrado no grupo controle. Esse efeito pode ser atribuído à neutralização da acidez do solo promovida pela liberação de íons bicarbonato durante o processo de decomposição da matéria orgânica, o que reduz a solubilidade e a disponibilidade de alumínio (Yan et al. 1996). Resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (2021) e Almeida-Bezerra et al. (2022), que observaram elevação do pH e diminuição dos teores de alumínio em solos tratados com serrapilheira de espécies nativas da Caatinga.

Os solos da Caatinga são caracterizados por baixa atividade química, acidez elevada, baixa soma de bases (S) e capacidade de troca catiônica (CTC) reduzida, resultando em baixa retenção de nutrientes e saturação por bases (V%) inferior a 60% (Carvalho et al. 2021). Essas características foram confirmadas no grupo controle que apresentou saturação por bases abaixo de 50%, classificando-se como solo distrófico (Embrapa 2017). No entanto, a adição de serrapilheira de *C. pyramidale* promoveu mudanças significativas na fertilidade do solo. A partir do tratamento 1, foi observado um aumento de 78% na saturação por bases, em comparação ao grupo controle, atingindo valores próximos a 100% nos tratamentos 2 e 3, caracterizando o solo como eutrófico (Embrapa 2017). Esses processos são particularmente importantes na Caatinga, onde a baixa fertilidade natural do solo limita a produtividade vegetal e a regeneração natural (Borba et al. 2023).

Composição química de *Cenostigma pyramidale*

Prospecção química

Os resultados qualitativos da prospecção química em *Cenostigma pyramidale* revelaram a presença de seis classes de metabólitos secundários (flavonoides, xantonas, chalconas, auronas, leucoantocianidinas e catequinas). Com destaque para a ocorrência de quatro subclasses dos flavonoides (flavonas, flavonóis, flavanonas e flavononois), corroborando com estudos de Virtuoso e Miguel (2005), Maraschin-Silva & Aquila (2006), Silva (2007) os quais destacam os flavonoides como frequentes em Fabaceae.

Teor de flavonoides totais

O teor de flavonoides totais nas folhas de *Cenostigma pyramidale* foi de 2,48 mg de EAG/g de extrato (2,4%). Esse valor é significativamente inferior ao relatado por Silva et al. (2011), que encontraram uma concentração de $370,40 \pm 12,80$ mg RE/g nas folhas da mesma espécie. Essa discrepância pode ser atribuída a diversos fatores extrínsecos que influenciam a biossíntese e o acúmulo de compostos fenólicos nas plantas, como a estação do ano, radiação UV, clima, composição do solo, além dos métodos de preparo e processamento (Huber & Rodriguez-Amaya 2009).

Além disso, segundo Gobbo-Neto & Lopes (2007), Qaderi et al. (2023), variações na concentração de flavonoides também podem estar relacionadas a fatores como disponibilidade hídrica, temperatura, altitude, condições e época de coleta, armazenamento da parte vegetal utilizada, bem como aos procedimentos de extração e à natureza dos solventes empregados.

Análise quantitativa por HPLC/DAD do extrato da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale*

Os resultados da análise de compostos fenólicos em *Cenostigma pyramidale*, com limites de detecção (LD), quantificação (LQ) em mg/mL e concentração encontrada no extrato *C. pyramidale* (ECP) expressa em mg/g e em porcentagem (%) estão expressas nas Figuras 3 e 4 e Tabela II. O total dos compostos quantificados foi de 1,8396 mg/g, correspondendo a

0,1840% da amostra. A pinocembrina foi o composto mais abundante, enquanto o ácido caféico e o ácido ferúlico não foram detectados.

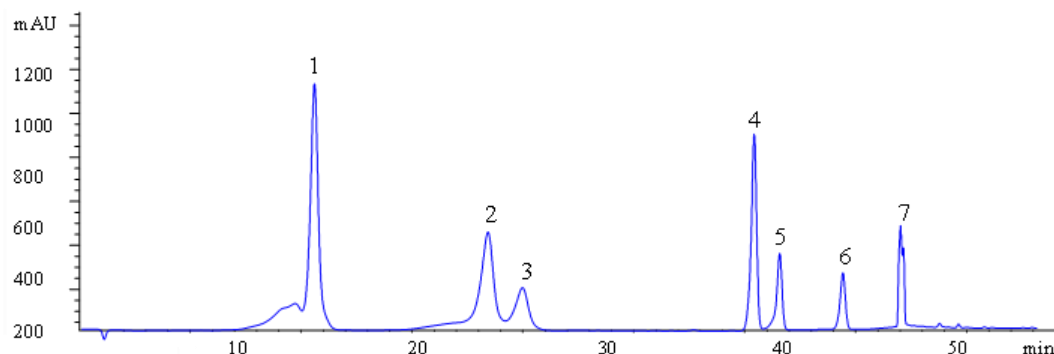


Figura 3. Perfil HPLC dos padrões de ácidos fenólicos e flavonoides do extrato da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale*. * Pico 1 (ácido cafeico (tR= 14,3 min), Pico 2 (ácido p-cumárico (tR = 24,4 min), Pico 3 (ácido ferúlico (tR = 26,6 min), Pico 4 (ácido cinâmico (tR = 38,4 min), Pico 5 (naringenina (tR = 39,8 min), Pico 6 (apigenina (tR = 43,4 min) e Pico 7 (pinocembrina (tR = 46,7 min). Curvas de calibração: ácido cafeico $y = 331,13x - 94,735$ ($r^2 = 0,9999$); ácido p-cumárico $y = 449,98x - 72,528$ ($r^2 = 0,9971$); ácido ferulico $y = 185,3x - 675,79$ ($r^2 = 0,9887$); ácido cinâmico $y = 236,74x - 188,67$ ($r^2 = 0,9991$); naringenina $y = 151,64x + 8,5796$ ($r^2 = 0,9994$); apigenina $y = 164,9x - 688,69$ ($r^2 = 0,9963$) e pinocembrina $y = 177,66x - 390,72$ ($r^2 = 0,9955$).

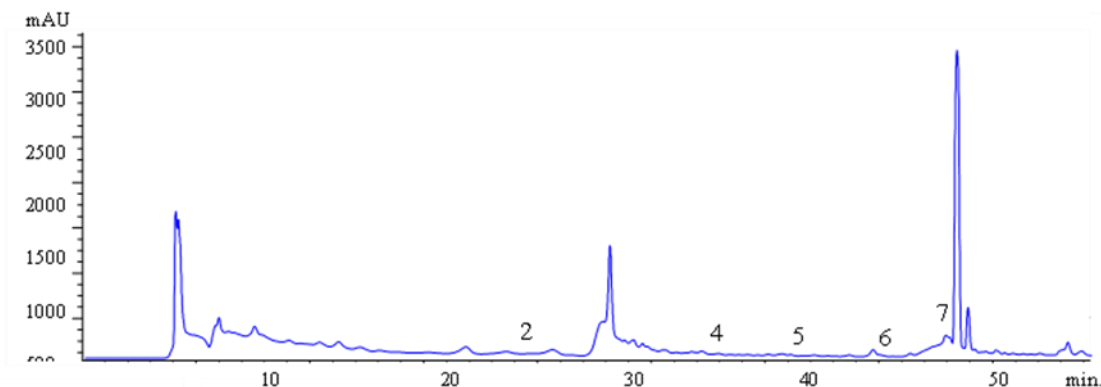


Figura 4. Perfil HPLC do extrato da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale*. * Pico 2 (ácido p-cumárico, Pico 4 (ácido cinâmico), Pico 5 (naringenina), Pico 6 (apigenina) e Pico 7 (pinocembrina).

Tabela II. Quantificação dos compostos por HPLC /DAD do extrato da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale*.

Composto	LD (mg/mL)	LQ (mg/mL)	ECP	
			mg/g	%
Ácido caféico	0,0001	0,0003	nd	nd
Ácido <i>p</i> -cumárico	0,0007	0,0025	0,0303±0,0027	0,0030
Ácido ferúlico	0,0048	0,0162	nd	nd
Ácido cinâmico	0,0009	0,0032	0,0541±0,0168	0,0054
Naringenina	0,0011	0,0036	0,0530±0,0476	0,0053
Apigenina	0,0027	0,0092	0,3577±0,0815	0,0358
Pinocembrina	0,0030	0,0102	1,3445±0,3881	0,1345
Total			1,8396	0,1840

* LD - limite de detecção, LQ - limite de quantificação em miligrama por mililitro, ECP - Extrato *Cenostigma pyramidale*, nd - não detectado. Os resultados dos valores são expressos como média (mg/g da amostra) ± DP (n = 3).

A presença de compostos fenólicos, como ácido *p*-cumárico e ácido cinâmico, no solo após a decomposição de *Cenostigma pyramidale* está de acordo com os achados de Silva et al. (2011), que identificaram altos teores de taninos, flavonoides e outros fenólicos em cascas e folhas dessa espécie. Esses metabólitos secundários são característicos de plantas adaptadas a ambientes áridos e desempenham um papel importante na defesa química vegetal (Ribeiro et al. 2021).

Estudos com outras Fabaceae, como *Myroxylon* spp., também destacam a atuação desses compostos como aleloquímicos, capazes de inibir o crescimento de espécies competidoras e regular a decomposição da matéria orgânica (Li et al. 2010). A detecção de fenóis no solo, portanto, reforça a hipótese de que *C. pyramidale* adota estratégias químicas semelhantes às de outras leguminosas da Caatinga, visando à conservação da biomassa e à adaptação a condições ambientais estressantes (Ribeiro et al. 2021, Pavinato & Rosolem 2008).

Ação alelopática de *Cenostigma pyramidale* sobre a germinação de *Azadirachta indica*

A germinação de *Azadirachta indica* foi afetada negativamente pela decomposição foliar de *Cenostigma pyramidale* em todas as concentrações testadas (Fig. 5). A presença de compostos fenólicos em *C. pyramidale*, podem atuar diminuindo na germinação de espécies competidoras, atuando como aleloquímicos. Estudos com *Tephrosia egregia* revelam que esses metabólitos secundários reduzem a germinação em condições de estresse hídrico, indicando que sua liberação no solo pode suprimir o estabelecimento de outras plantas (Moraes et al. 2023). Vale destacar que em experimentos realizados tendo como receptora plantas herbáceas (*Deschampsia flexuosa*, *Scrophularia nodosa*, *Senecio sylvaticus* e *Chamaenerion angustifolium*), os fenóis inibiram a germinação em mais de 50% quando expostos a concentrações acima de 0,5% no solo (Kuiters 1989). Já em relação a sincronia, tempo de germinação de 50% das sementes (T50) e índice de velocidade de germinação (IVG) de *A. indica* não foram observados efeitos significativos (Tabela III)

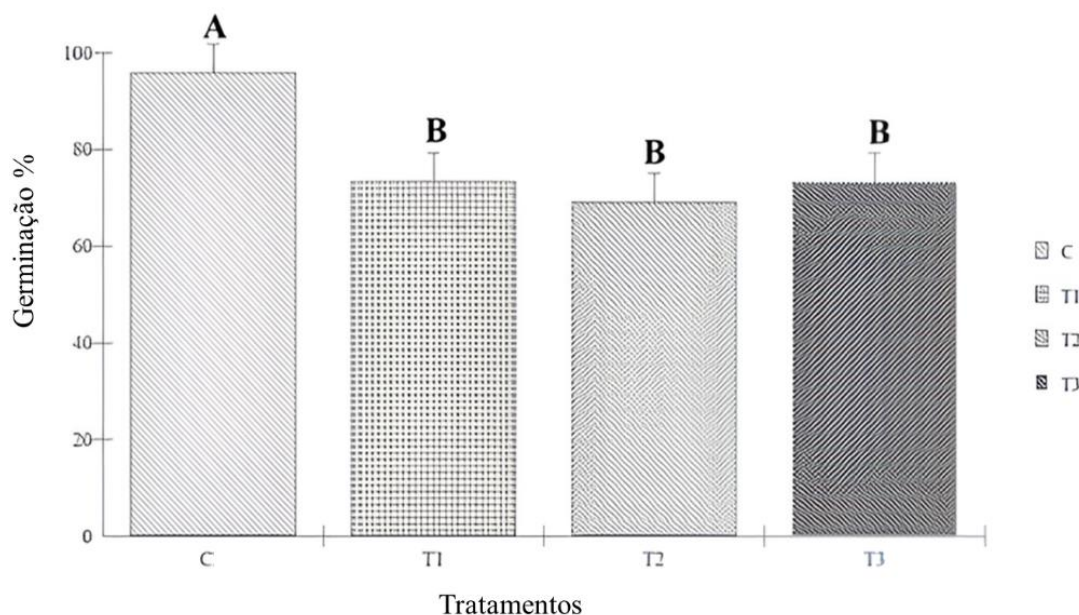


Figura 5. Porcentagem de germinação de sementes de *Azadirachta indica* submetidas a diferentes concentrações de extratos de serrapilheira de *Cenostigma pyramidale*. *Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Tabela III: Atividade alelopática dos extratos da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale* sobre a sincronia, tempo de germinação de 50% das sementes (T50) e índice de velocidade de germinação (IVG) de *Azadirachta indica*.

Parâmetros	Tratamentos			
	C	T1	T2	T3
Sincronia	<u>0.16±0.10^a</u>	<u>0.07±0.15^a</u>	<u>0.11±0.13^a</u>	<u>0.06±0.06^a</u>
T ₅₀ (%)	<u>10.94±1.68^a</u>	<u>10.58±1.13^a</u>	<u>10.512±1.23^a</u>	<u>10.08±0.79^a</u>
IVG	<u>2.26±0.53^a</u>	<u>2.02±0.54^a</u>	<u>2.20±0.71^a</u>	<u>2.25±0.38^a</u>

*C = Controle, Tratamento1 = T1: 21 g/Kg, Tratamento2 = T2: 42 g/Kg, Tratamento3 = T3: 63 g/Kg. Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,05), letras iguais não diferem entre si significativamente.

Ação alelopática de *Cenostigma pyramidale* sobre a morfologia interna de *Azadirachta indica*

Na análise anatômica, não foram observadas variações significativas na espessura dos tecidos do caulículo de *A. indica* expostos a diferentes concentrações da serrapilheira de *C. pyramidale*. Em contrapartida, nas radículas, verificou-se um espessamento mais acentuado da epiderme em todos os tratamentos, quando comparados ao grupo controle (Tabela IV).

Esse aumento significativo na espessura da epiderme radicular pode ser atribuído ao contato direto da raiz com o solo, o qual contém compostos químicos e nutrientes (Choudhary et al. 2023). A epiderme da radícula, por ser a primeira barreira de defesa da plântula, mostra-se mais suscetível às alterações químicas do ambiente edáfico (Iqbal & Fry 2012).

Estudos realizados por Parida et al. (2016), Silva et al. (2020) reforçam que o espessamento da epiderme radicular atua como uma barreira protetora, limitando a absorção de compostos. Assim, neste estudo, é possível que compostos como pinocembrina, apigenina, ácido cinâmico, naringenina e ácido p-cumárico tenha desencadeado uma resposta adaptativa na epiderme das radículas do nim indiano, funcionando como um mecanismo de defesa para dificultar a entrada dessas substâncias.

Tabela IV. Espessura em micrómetro (μm) dos tecidos de diferentes regiões dos caules jovens e radículas de *Azadirachta indica* em seção transversal, submetidos a diferentes concentrações do extrato da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale*.

<u>Orgão</u>	<u>Variáveis</u>	<u>C</u>	<u>T1</u>	<u>T2</u>	<u>T3</u>
Morfoanatomia (μm)					
Caulículo	<u>Epiderme</u>	38.40 $\pm$ 8.01 ^a	41.52 $\pm$ 1.44 ^a	42.32 $\pm$ 2.35 ^a	39.33 $\pm$ 2.08 ^a
	<u>Cortex</u>	715.512 $\pm$ 154.28 ^a	1135.105 $\pm$ 175.444 ^a	1037.88 $\pm$ 135.30 ^a	722.94 $\pm$ 253.87 ^a
	<u>Sistema vascular</u>	503.405 $\pm$ 7.683 ^a	448.666 $\pm$ 116.233 ^a	503.405 $\pm$ 7.683 ^a	771.072 $\pm$ 42.684 ^a
	<u>Epiderme</u>	32.50 $\pm$ 2.87 ^b	41.845 $\pm$ 2.72 ^a	40.768 $\pm$ 1.81 ^a	41.829 $\pm$ 1.96 ^a
	<u>Cortex</u>	546.64 $\pm$ 194.56 ^a	468.51 $\pm$ 96.86 ^a	532.54 $\pm$ 114.066 ^a	708.60 $\pm$ 162.15 ^a
Radícula	<u>Sistema vascular</u>	489.10 $\pm$ 103.05 ^a	619.38 $\pm$ 113.147 ^a	588.816 $\pm$ 21.178 ^a	663.199 $\pm$ 113.24 ^a

*C = Controle, Tratamento1 = T1: 21 g/Kg, Tratamento2 = T2: 42 g/Kg, Tratamento3 = T3: 63 g/Kg. Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,05); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

A análise qualitativa evidenciou alterações anatômicas no desenvolvimento dos tecidos da radícula de *A. indica*, no tratamento 3 quando comparado ao grupo controle (Fig. 6A) com a formação de raízes laterais, o que não foi observado no grupo controle (Fig. 6B, C).

A formação precoce de raízes laterais pode estar associada a desbalanços hormonais (Aloni et al. 2006), que podem interferir em diferentes vias fisiológicas, incluindo rotas hormonais, retardando o desenvolvimento de certas estruturas, como raízes secundárias (Spiassi et al. 2015). Além disso, aleloquímicos derivados de compostos voláteis e solúveis em água, como flavonoides e terpenoides, podem alterar a permeabilidade da membrana celular e

afetar a expressão de genes envolvidos na morfogênese radicular (Gniazdowska & Bogatek 2005).

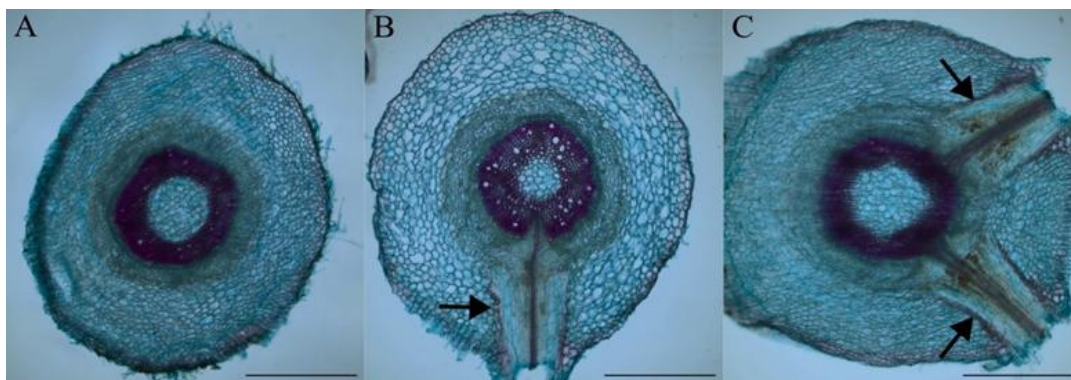


Figura 6. Aspectos anatômicos da radícula de *Azadirachta indica* em cortes transversais, submetida a diferentes concentrações de serrapilheira de folhas de *Cenostigma pyramidale*. A) Radícula da plântula do grupo controle; B e C) Radícula da plântula submetida ao tratamento 3 (63g/kg), desenvolvimento pronunciado de raízes laterais (seta preta). Barra de escala: 500 μ m.

Efeito alelopático de *Cenostigma pyramidale* sobre o índice mitótico de *Azadirachta indica*

Os extratos de serrapilheira em decomposição de *Cenostigma pyramidale* apresentaram efeito citotóxico sobre o ciclo celular de *Azadirachta indica*, promovendo um aumento do índice mitótico (IM%) em todos os tratamentos avaliados (Fig. 7).

Dentre os tratamentos, o T2 apresentou o maior índice mitótico (14%), seguido por T3 (12,5%) e T1 (12%), enquanto o grupo controle apresentou o menor valor (10,7%). Esses resultados sugerem que os extratos podem estar estimulando a divisão celular, com destaque para o tratamento 2, que se mostrou o mais efetivo nesse estímulo.

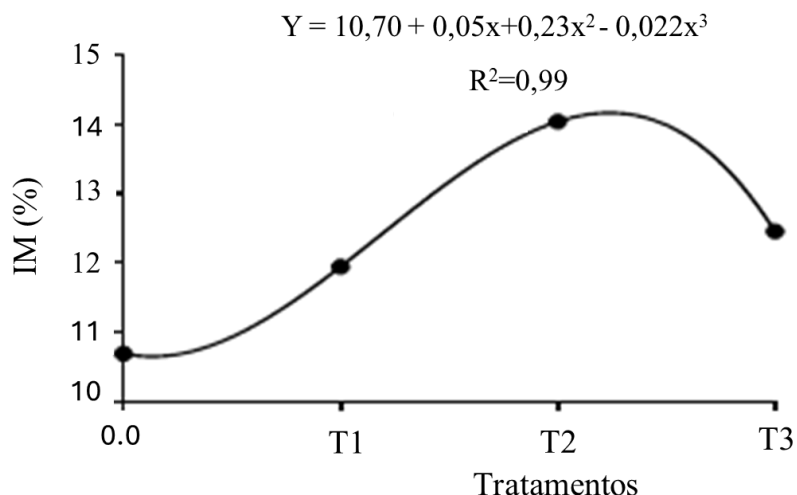


Figura 7. Índice mitótico de células meristemáticas de *Azadirachta indica* submetidas ao extrato da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale* em diferentes concentrações. *Controle - 0 g/kg, Tratamento1 = T1 - 21 g/Kg, Tratamento2 = T2 - 42 g/Kg, Tratamento3 = T3 - 63 g/Kg.

Segundo Ferreira & Borghetti (2004), a emergência e o crescimento inicial constituem as fases mais sensíveis da ontogênese vegetal. Durante esse período, a presença de compostos alelopáticos, podem influenciar de modo positivo ou negativo a germinação, o crescimento e o desenvolvimento das plantas, por meio de mecanismos envolvendo interferência na divisão celular, na permeabilidade das membranas e na ativação de enzimas (Rodrigues et al. 2021).

Alguns triterpenos, como o triacontanol, são descritos na literatura como agentes que exercem efeitos positivos sobre o ciclo celular e o crescimento vegetal (Ries & Houtz, 1983). Assim, a presença de substâncias alelopáticas potencialmente citotóxicas pode estar associada tanto à inibição quanto ao estímulo do crescimento das plântulas (Coelho et al. 2022).

Na Tabela V, são apresentados os dados referentes às fases do ciclo celular (interfase, prófase, metáfase, anáfase e telófase), assim como os valores do índice mitótico (IM%) nos diferentes tratamentos (T1, T2 e T3) e no grupo controle. A interfase foi a fase predominante em todos os tratamentos, com valores próximos a 3.800 células. Com as demais fases (prófase, metáfase, anáfase e telófase) apresentando valores significativamente inferiores.

Tabela V. Frequência das diferentes fases da divisão celular (mitose) em células meristemáticas das radículas de plântulas de *Azadirachta indica* submetidas a diferentes concentrações do extrato da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale* após 120 dias de decomposição.

Tratamentos	Interfase	Prófase	Metáfase	Anáfase	Telófase	IM%
C	3.770	59	58	3	19	3,45
T1	3.836	51	60	3	50	4,10
T2	3.807	70	75	6	42	4,82
T3	3.831	68	56	10	35	4,22

*C = Controle, Tratamento1 = T1: 21 g/Kg, Tratamento2 = T2: 42 g/Kg, Tratamento3 = T3: 63 g/Kg.

Em concordância com Moreira (2015), todos os tratamentos demonstraram uma alta frequência de células em Interfase, indicando que os compostos químicos (pinacebrina, apigenina, narigenina, ácido cinâmico e ácido p-cumárico) presentes em *Cenostigma pyramidale* induziu significamente o aumento do número de células produzidas no ciclo celular de *Azadirachta indica*. Esses resultados reforçam os dados obtidos nesse estudo, pois o aumento do espessamento da epiderme da radícula e a origem prematura das raízes laterais requer uma maior atividade no ciclo celular.

Efeito alelopático de *Cenostigma pyramidale* sobre o crescimento de *Azadirachta indica*

A serrapilheira de *Cenostigma pyramidale* teve um efeito negativo na média do comprimento do epicótilo de *Azadirachta indica* no tratamento 2 quando comparado ao controle (Fig. 8). Para os demais parâmetros analisados, comprimentos do hipocótilo e da radícula, não houve efeitos significativos.

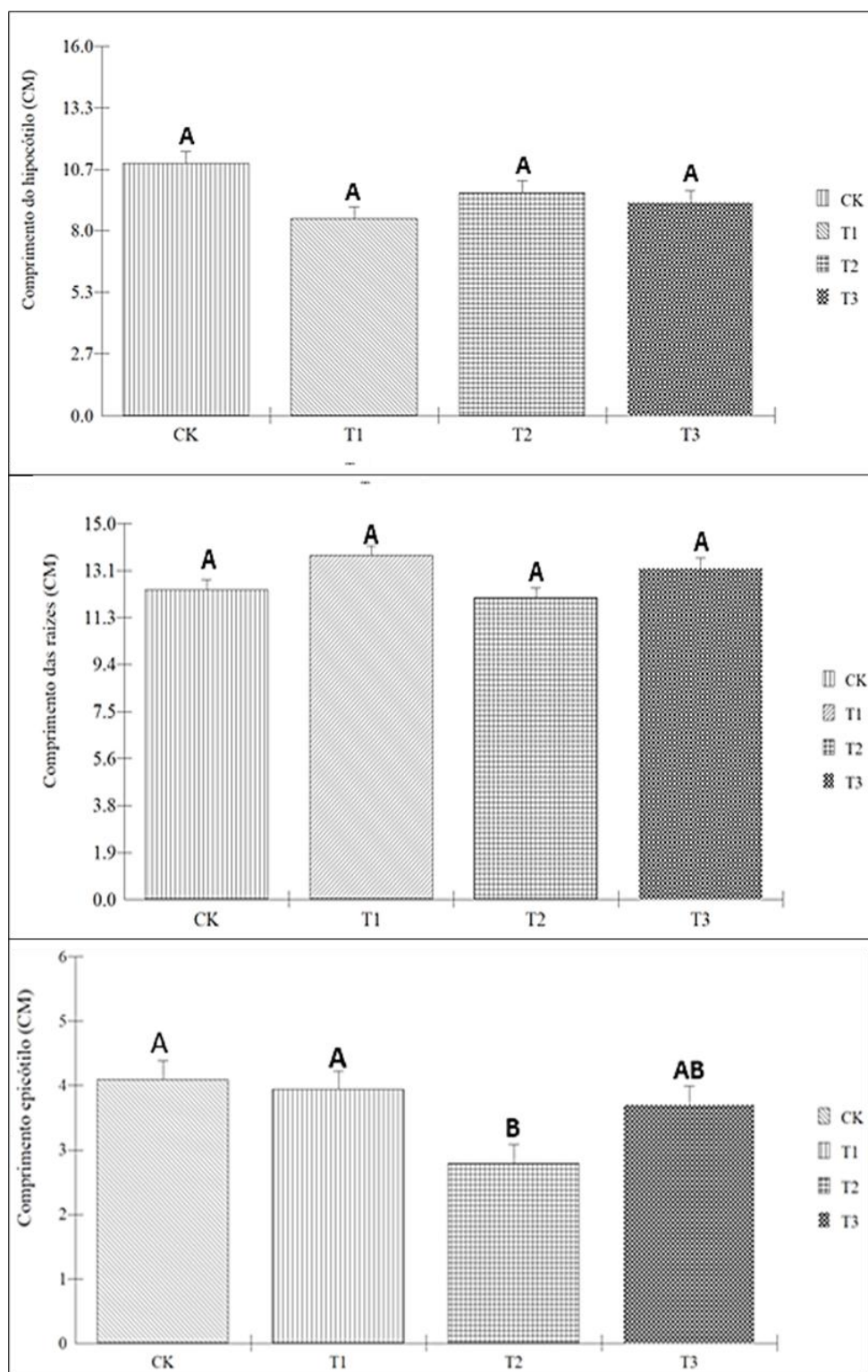


Figura 8. Atividade alelopática da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale* no comprimento em centímetros (cm) da radícula, epicótilo e hipocótilo de *Azadirachta indica*. * C= controle, T1 - 21g/kg = Tratamento 1, T2 - 42g/kg = Tratamento 2, T3 - 63g/kg = Tratamento 3. Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Tabela VI. Peso seco em gramas da raiz, hipocótilo e epicótilo de plântulas de *Azadirachta indica* submetidos aos substratos de solo da Caatinga contendo folhas decompostas de *Cenostigma pyramidale*.

Tratamento	Raiz	Epicótilo	Hipocótilo
		peso seco (g)	
C	0.12±0.04 ^a	0.12±0.04 ^a	0.01±0.007 ^a
T1	0.19±0.05 ^a	0.35±0.09 ^a	0.02±0.01 ^a
T2	0.13±0.04 ^a	0.40±0.08 ^a	0.02±0.008 ^a
T3	0.12±0.03 ^a	0.34±0.09 ^a	0.02±0.008 ^a

*C= controle, T1 21g/kg = Tratamento 1, T2 - 42g/kg = Tratamento 2, T3 - 63g/kg = Tratamento 3. Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,05); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Segundo Reigosa et al. (1999), algumas espécies apresentam maior resistência a compostos alelopáticos devido a mecanismos como barreiras fisiológicas. Portanto, a ausência de efeitos significativos pode refletir uma adaptação da espécie estudada aos compostos testados.

A serrapilheira de *C. pyramidale* em T1, T2 e T3 promoveu uma diminuição na área foliar em todas os tratamentos, demonstrando que a presença de nutrientes no solo influenciou negativamente diferentes órgãos da planta da espécie receptora (Fig. 9). A área foliar é uma variável importante na avaliação do crescimento das plantas, já que está diretamente relacionada à capacidade de fotossíntese e, conseqüentemente, ao desenvolvimento geral da planta (Favarin et al. 2002). Algumas leguminosas liberam metabólitos secundários (feilpropanoídes, flavonoides, isoflavonoides, catequinas, antocianinas, taninos, lignanas, cumarinas e furanocumarinas) como parte de sua defesa química ou atração de polinizadores, mas em certas concentrações, eles podem induzir fitotoxicidade ou alterações fisiológicas (Wink 2013). Por exemplo, o ácido gálico, embora seja um antioxidante, em altas doses pode inibir o crescimento foliar devido à sua ação alelopática, afetando a divisão celular e a expansão das folhas (Hepp et al. 2009).

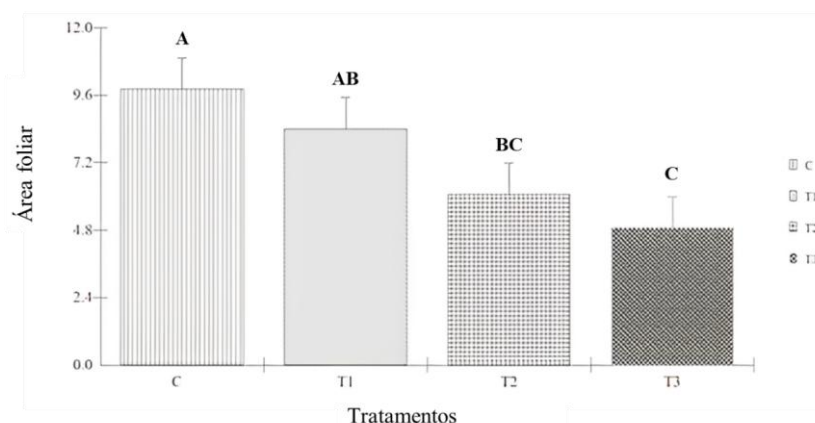


Figura 9: Efeito alelopático do extrato da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale* na área foliar de *Azadirachta indica*. * C= controle, T1 21g/kg = Tratamento 1, T2 - 42g/kg = Tratamento 2, T3 - 63g/kg = Tratamento 3. Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); letras iguais não diferem entre si significativamente.

Os resultados dos teores de clorofila a, b, total e carotenoides não apresentaram diferença significativa em relação aos tratamentos aplicados quando comparados ao grupo controle (Tabela VII).

Tabela VII: Atividade alelopática da serrapilheira de *Cenostigma pyramidale* sobre o conteúdo de clorofila e carotenoides de *Azadirachta indica*.

Tratamentos	<u>Clorofila a</u>	<u>Clorofila b</u>	<u>Clorofila total</u>	<u>Carotenoides</u>
<u>Absorbâncias (nm)</u>				
<u>C</u>	0.31±0.02 ^a	0.11±0.02 ^a	0.43±0.03 ^a	0.09±0.01 ^a
<u>T1</u>	0.30±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.41±0.02 ^a	0.10±0.06 ^a
<u>T2</u>	0.31±0.01 ^a	0.11±0.02 ^a	0.43±0.04 ^a	0.09±0.01 ^a
<u>T3</u>	0.26±0.05 ^a	0.09±0.041 ^a	0.36±0.08 ^a	0.08±0.01 ^a

*C= controle, T1 21g/kg = Tratamento 1, T2 - 42g/kg = Tratamento 2, T3 - 63g/kg = Tratamento 3. Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

CONCLUSÃO

A presença de metabólitos secundários, a exemplo de pinocembrina, apigenina, naringenina, dentre outros, liberados durante a decomposição, interferiu de forma negativa na germinação das sementes de *A. indica*, promoveu alterações na morfoanatomia das plântulas, especialmente na espessura da epiderme das radículas, aumento do índice mitótico e redução da área foliar, estes achados reforçam o papel ecológico da alelopatia na regulação das interações entre espécies nativas e exóticas em ecossistemas frágeis, como a Caatinga.

Estudos futuros devem investigar os mecanismos moleculares dessas interações e estratégias para mitigar os impactos promovidos por espécies invasoras sobre as espécies nativas.

REFERÊNCIAS

ANTONGIOVANNI M, VENTICINQUE EM, MATSUMOTO M & FONSECA, CR. 2020. Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments. *Journal of Applied Ecology* 57: 2064-2074.

ALVES RM, SILVA MAD, SILVA JN, SILVA EF & MIRANDA PHO. 2023. Serrapilheira de *Libidibia ferrea* no estabelecimento de plântulas de milho: *Libidibia ferrea* litter on maize seedling establishment. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente* 13: e13236.

ARAÚJO LLS, BOTREL RT & CASTRO V. 2024. O uso das espécies exóticas *Ficus* e *nim* na arborização urbana do nordeste brasileiro. *Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA* 25: 1-10.

ARAÚJO HF, CANASSA NF, MACHADO CC & TABARELLI M. 2023. Human disturbance is the major driver of vegetation changes in the Caatinga dry forest region. *Scientific Reports* 13: 13, 18440.

ALONI R, ALONI E, LANGHANS M & ULLRICH CI. 2006. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. *Annals of Botany* 97: 883-893.

ALMEIDA-BEZERRA JW, SILVA VB, SILVA MAP, RODRIGUES FC, BRITO ES, RIBEIRO PRV, MEIADO MV & OLIVEIRA AFM. 2022. Leaf decomposition of *Mesosphaerum suaveolens* affects the growth of Cactaceae species in the Brazilian Seasonally Dry Tropical Forest. *Journal of Arid Environments* 198: 104681.

BERGALLO HG, SILVEIRA FILHO TB & ZILLER SR. 2021. Primeira lista de referência de espécies exóticas invasoras no estado do Rio de Janeiro-Brasil: implicações para pesquisas, políticas e manejo. *Bioinvasões* 8: 3-18.

BEZERRA AM, LAZAR, A, BONVICINO, CR & CUNHA, AS. 2014. Subsidies for a poorly known endemic semiarid biome of Brazil: non-volant mammals of an eastern region of Caatinga. *Zoological Studies* 53:16.

BORBA MC, RAMOS JES, BARROS JEM & MACHADO JAD. 2023. A difusão de tecnologias no meio agrícola na Caatinga – a região de clima semiárido brasileiro. *Interações* 24: 69-93.

BOT A & BENITES, J. 2005. The importance of soil organic matter. *FAO Soils Bulletin*. 80. BRASIL. 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS. 399 p.

CARVALHO JCR, NASCIMENTO AS, LIMA MCF & SILVA FL. 2021. Larvas e vermes na compostagem de resíduos orgânicos provenientes de baias de equinos. In: ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. (eds.). *Pesquisas agrárias e ambientais*. 3. ed. Campo Grande: Pantanal Editora, 25-42 p.

CARVALHO JND., BECKMANN-CAVALCANTE MZ, RODRIGUES RG, FONTANA AP & PIFANO DS. 2022. Espécies nativas da caatinga para recuperação de áreas degradadas no semiárido brasileiro. *Revista Árvore* 46: 1-12.

CHAPIN III, FS, MATSON PA & VITOUSEK, P.M 2011. Principles of terrestrial ecosystem ecology. 2. ed. New York: Springer, 529 p.

CHAVES TP, SILVA JPR, MEDEIROS FD, COSTA FILHO JH, ALENCAR LCB, SANTANA CP & DANTAS AC. 2015. Traditional use, phytochemistry and biological activities of *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz. African Journal of Biotechnology 14: 3350-3358

CHIOCHETTA AG & TISCHER, JS. 2022. Efeito Alelopático e Caracterização do Extrato Aquoso de Azevém (*Lolium multiflorum*) Sobre a Germinação de Sementes de Trigo (*Triticum aestivum*). Anais de Agronomia 2: 95-105.

CHOUDHARY CS, BEHERA B, RAZA MB, MRUNALINI K, BHOI TK, LAL M K & DAS TK. 2023. Mechanisms of allelopathic interactions for sustainable weed management. Rhizosphere 25: 1-16.

COELHO LCS, MIGNONI DSB, BARBEDO CJ & BRAGA M R. 2022. Seed leachates of the tropical legume *Sesbania virgata*: their effects on germination and seedling growth of tomato and rice. Acta Physiologiae Plantarum 44: 1-13.

CRONAN CS. 2018. Ecosystem Biogeochemistry: element cycling in the forest landscape. Cham, Switzerland: Springer. 203 p.

DONAGEMA GK. 2011. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 230 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2017. Manual de métodos de análises de solo. Brasília – DF. 574p.

FAVARIN JL. 2002. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. Pesquisa agropecuária brasileira 3: 769-773.

FABRICANTE JR, SANTOS JPB, ARAÚJO KCT & COTARELLI VM. 2017. Utilização de espécies exóticas na arborização e a facilitação para o estabelecimento de casos de invasão biológica. *Biotemas* 30: 55-63.

FAROOQ M, BASRA SMA, AHMAD N & HAFEEZ K. 2005. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. *Journal of Integrative Plant Biology* 47: 187-193.

FERREIRA A & BORGHETTI. F. 2004. Germinação: do Básico ao Aplicado. Artmed Editora. Porto Alegre. 323 p.

GNIAZDOWSKA A & BOGATEK R. 2005. Allelopathic interactions between plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 27: 395-407.

GOBBO-NETO L & LOPES NP. 2007. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química nova* 30: 374-381.

GUERRA MJ & SOUZA M. 2002. Como observar os cromossomos: um guia de técnicas em citogenética vegetal, animal e humana. Ribeirão Preto: FUNPEC. 130 p.

HEPP LU, DELANORA R & TREVISAN A. 2009. Compostos secundários durante a decomposição foliar de espécies arbóreas em um riacho do sul do Brasil. *Acta Botanica Brasílica* 23: 407-413.

HOLL KD. 2023. Fundamentos da restauração ecológica. Cd. de México. México. CopIt ArXives. 184p.

HUANG W, HU T, CHEN H, WANG Q, HU H, TU L & JING L. 2013. Impact of decomposing *Cinnamomum septentrionale* leaf litter on the growth of *Eucalyptus grandis* saplings. *Plant Physiology and Biochemistry* 70: 411-417.

HUBER LS, HOFFMANN-RIBANI R & RODRIGUEZ-AMAYA DB 2009. Quantitative variation in Brazilian vegetable sources of flavonols and flavones. *Food Chemistry* 113: 1278-1282.

IAS - INTERNATIONAL ALLELOPATHY SOCIETY. 2012. Constitution and bylaws. IAS -. Constitution and Bylaws. Disponível em < <http://www-ias.uca.es/bylaws>>. Acesso em: 15 maio 2025.

IQBAL A. & FRY SC. 2012. Potent Endogenous Allelopathic Compounds in *Lepidium sativum* Seed Exudate: Effects on Epidermal Cell Growth in *Amaranthus caudatus* seedlings. Journal of Experimental Botany 63: 2595-2604.

JOHANSEN DA. 1940. Plant microtechnique. Nature 147: 222.

KOSALEC I, BAKMAZ M, PEPELJNJAK S & VLADIMIR-KNEZEVIĆ S. 2004. Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. Acta Pharm 54: 65-72.

KUITERS, AT. 1989. Effects of phenolic acids on germination and early growth of herbaceous woodland plants. Journal of Chemical Ecology 15: 467-479.

LABOURIAU LG & VALADARES MB. 1976. On the germination of seeds of *Calotropis procera*. Anais da Academia Brasileira de Ciencias 48: 263-284.

LEITE LFC & GALVÃO SRS. 2008. Matéria orgânica do solo: funções, interações e manejo em solo tropical. In: ARAÚJO, A. S. F. et al. (ed.). Matéria orgânica e organismos do solo. Teresina: EDUFIP. 19 p.

LICHTENTHALER HK & WELLBURN AR. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

LIMA RR & SILVA FP. 2022. Nim (*Azadirachta indica*): uma abordagem sobre uso como inseticida natural. Revista Científica ACERTTE 2: e21099.

LI ZH, WANG Q, RUAN X, PAN CD & JIANG DA. 2010. Phenolics and plant allelopathy. Molecules 15: 8933-8952.

MAGUIRE JD. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.

MARASCHIN-SILVA F & AQUILA MEA. 2006. Allelopathic potential of native species in *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) germination and initial growth. *Acta Botanica Brasilica* 20: 61-69.

MORAES PJD, RIBEIRO JPO, SILVA MM, DIAS DCFDS, CECON PR & SANTOS JVD. 2023. Seed germination in *Tephrosia egregia* Sandwith (Fabaceae), a species native to the Brazilian Caatinga ecoregion with potential for recovery of degraded areas. *Hoehnea* 50: e292022.

MATOS FJDA. Introdução à fitoquímica experimental. Fortaleza: edições UFC, 2009.

OLIVEIRA IP, NEVES BP, MOREIRA FP & COSTA KAP. 2005. Manejo sustentável e nutrição mineral do nim indiano. Comunicado Técnico 110. EMBRAPA. Goiás. 16 p.

OLIVEIRA AKD, DIÓGENES FÉP, COELHO MDFB & MAIA SSS. 2009. Alelopatia em extratos de frutos de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart. - Rhamnaceae). *Acta Botanica Brasilica* 23: 1186-1189.

PARIDA AK, VEERABATHINI SK, KUMARI A & AGARWAL PK. 2016. Physiological, anatomical and metabolic implications of salt tolerance in the halophyte *Salvadora persica* under hydroponic culture condition. *Frontiers in Plant Science* 7:1-18.

PARROTTA JA & CHATURVEDI, AN. 1994. *Azadirachta indica* A. Juss. Neem, margosa. Meliaceae. Mahogany family. USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 8p.

PAVINATO OS & ROSOLEM CA. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do solo* 32: 911-920.

PIRES NDM, SOUZA IRP, PRATES HT, FARIA TCLD, PEREIRA FILHO IA & MAGALHÃES PC. 2001. Efeito do extrato aquoso de leucena sobre o desenvolvimento, índice mitótico e atividade da peroxidase em plântulas de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 13: 55-65.

PORRA RJ, THOMPSON WA & KRIEDEMANN PE. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics* 975: 384-394.

QADERI MM, MARTEL AB & STRUGNELL CA. 2023. Environmental factors regulate plant secondary metabolites. *Plants* 12: 447.

QUEIROZ MG, SILVA TGFS, ZOLNIER S, SOUZA CAA, SOUZA LSB, NETO AJS ARAÚJO GGL & FERREIRA WPM. 2019. Seasonal patterns of deposition litterfall in a seasonal dry tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 279: 12019.

RANAL MA & SANTANA DGD. 2006. How and why to measure the germination process? *Brazilian Journal of Botany* 29: 1-11.

REIGOSA MJ, SÁNCHEZ-MOREIRAS A. & GONZÁLEZ L. 1999. Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences* 18: 577-608.

RIBEIRO VM, FORTES AMT, CORSATO JM, MEIRA RO, MENDONÇA LC & CASSOL FDR. 2018. Alelopatia de *Leucaena leucocephala* e *Hovenia dulcis* em mudas de *Mimosa bimucronata* e *Peltophorum dubium*. *Ambiência* 14: 649-661.

RIBEIRO I, CINTRA M, ARRUDA ECPD, OLIVEIRA AFMD & ALMEIDA JSD. 2021. Defesas físicas e químicas de *Cenostigma pyramidalis* (Fabaceae): uma espécie pioneira em áreas sucessionais de Caatinga. *Revista Caatinga* 34: 398-409.

RIES S & HOUTZ R. 1983. Triacantanol as a Plant Growth Regulator. HortScience. 18: 654-662 p.

RIZZARDI, A. **Potencial de genótipos de canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) na supressão de plantas daninhas.** 2007. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) -Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

ROESER KR. 1962. Die Nadel der Schwarzkiefer-Massenprodukt und kunstwerk der Natur. Mikrokosmos 61: 33-36.

RODRIGUES MDP, SANTOS, C, SILVA AKF, ALMEIDA-BEZERRA JW, SILVA DL, SOUZA MA, SILVA MAP. 2021. Potencial alelopático de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae) sobre a germinação e desenvolvimento de plantas daninhas. Research, Society and Development 10: e200101522739.

SANTOS HP & TOMM GO. 2003. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. Ciência Rural 33: 477-486.

SILVA CHTP, SOBRINHO TJDSP, CASTRO VTNDA, LIMA DDCA & AMORIM ELC. 2011. Antioxidant capacity and phenolic content of *Caesalpinia pyramidalis* Tul. and *Sapium glandulosum* (L.) Morong from northeastern Brazil. Molecules 16: 4728-4739.

SILVA, NV. Aporte de serrapilheira, fenologia da catingueira e dinâmica do CO₂ do solo em áreas da caatinga no cariri paraibano. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Zootecnia. Universidade Federal da Paraíba. Areia, PB, 2019. 55p.

SILVA VB, ALMEIDA-BEZERRA JW, BRITO ES, RIBEIRO PRV, CORDEIRO LS, JÚNIOR JTC, COSTA JGM. & SILVA MAP, 2021. Effect of decomposition of leaves of *Azadirachta indica* A. Juss. on germination and growth of *Myracrodruon urundeuva* Allemão. South African Journal of Botany 142: 42-52.

SILVA WAD. Potencial alelopático de extratos do cumarú (*Amburana cearensis* AC Smith) e da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) na germinação e crescimento de sorgo (*Sorghum bicolor* L.), milho (*Zea mays* L.) e feijão guandu (*Cajanus cajan* L.). 2007. 61 f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, Paraíba, Brasil, 2007.

SILVA BRS, BATISTA BL & LOBATO AKS. 2020. Anatomical changes in stem and root of soybean plants submitted to salt stress. *Plant Biology* 23: 57-65.

SPIASSI A, NÓBREGA LHP, ROSA DM, PACHECO FP, SENEM J, LIMA GP. 2015. Allelopathic effects of pathogenic fungi on weed plants of soybean and corn crops. *Bioscience Journal* 31: 1037-1048.

VALOIS AC & OLIVEIRA MR. 2005. Segurança biológica para o agronegócio. *Agrociencia-Sitio en Reparación* 9: 203-211.

VIRTUOSO S & MIGUEL M. 2006. Estudo fitoquímico e biológico das cascas de *Erythrina velutina* Willd. - Fabaceae (Leguminosae - Papilionoidae). *Visão Acadêmica* 6: 10.5380/v6i1.576.

ZHANG X, LIU Z, TIAN N, LUC NT, ZHU B & BING Y. 2015. Allelopathic effects of decomposed leaf litter from intercropped trees on rape. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39: 898-908.

YAN F, SCHUBERT S & MENGEL K. 1996. Soil pH changes during legume growth and application of plant material. *Biology and Fertility of Soils* 23: 236-242.

WEIR, TL, PARK, SW & VIVANCO, JM. 2004. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology* 7: 472-479.

WINK M. 2013. Evolution of secondary metabolites in legumes (Fabaceae). *South African Journal of Botany* 89: 164-175.

