

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

DANILO BERNARDINELI DE OLIVEIRA

Avaliação do potencial alelopático e citogenotóxico do extrato aquoso de *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. em *Lactuca sativa* L.

Juiz de Fora
2026

DANILO BERNARDINELI DE OLIVEIRA

Avaliação do potencial alelopático e citogenotóxico do extrato aquoso de *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. em *Lactuca sativa* L.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Marçal de Sousa

Juiz de Fora
2026

Danilo Bernardineli de Oliveira

Avaliação do potencial alelopático e citogenotóxico do extrato aquoso de *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. em *Lactuca sativa* L.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: ____ de _____ de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo Marçal de Sousa – Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr^a. Aryane Campos Reis
Universidade Federal de Juiz de Fora

Me. Moisés Henrique Almeida Gusmão
Universidade Federal de Juiz de Fora

Avaliação do potencial alelopático e citogenotóxico do extrato aquoso de *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. em *Lactuca sativa* L.

RESUMO

Pueraria phaseoloides (Roxb.) Benth. é uma leguminosa amplamente utilizada em sistemas agrícolas devido à sua elevada produção de biomassa e capacidade de fixação biológica de nitrogênio. Entretanto, seu potencial invasivo e a presença de metabólitos secundários com atividade alelopática despertam interesse quanto aos seus efeitos sobre organismos vegetais. Este estudo avaliou os efeitos de diferentes concentrações do extrato aquoso de *P. phaseoloides* sobre a germinação, o crescimento radicular e parâmetros citogenéticos de *Lactuca sativa* L. Foram analisados a porcentagem de germinação, o comprimento radicular, o índice mitótico, a distribuição das fases mitóticas, o índice total de alterações cromossômicas e a taxa de núcleos heteropicnóticos. O extrato promoveu redução significativa da germinação, do crescimento radicular e do índice mitótico, além de alterar a dinâmica mitótica e aumentar a frequência de aberrações cromossômicas e núcleos heteropicnóticos. As alterações mais frequentes foram aderência cromossômica, C-metáfase e pontes anafásicas. Os resultados evidenciam o potencial alelopático, citotóxico e genotóxico de *P. phaseoloides* e contribuem para a compreensão dos mecanismos celulares envolvidos em sua ação biológica.

Palavras-chave: aberrações cromossômicas; alelopatia; crescimento radicular; fitotoxidade; índice mitótico.

ABSTRACT

Pueraria phaseoloides (Roxb.) Benth. is a legume widely used in agricultural systems due to its high biomass production and biological nitrogen fixation capacity. However, its invasive potential and the presence of secondary metabolites with allelopathic activity have raised interest regarding its effects on plant organisms. This study evaluated the effects of different concentrations of *P. phaseoloides* aqueous extract on the germination, root growth, and cytogenetic parameters of *Lactuca sativa* L. Germination percentage, root length, mitotic index, relative distribution of mitotic phases, total chromosomal alteration index, and

frequency of heteropycnotic nuclei were assessed. The extract significantly reduced germination, root growth, and mitotic index, while altering mitotic dynamics and increasing the frequency of chromosomal aberrations and heteropycnotic nuclei. The most frequent alterations were chromosome stickiness, C-metaphases, and anaphase bridges. The results demonstrate the allelopathic, cytotoxic, and genotoxic potential of *P. phaseoloides* and contribute to a better understanding of the cellular mechanisms involved in its biological activity.

Keywords: allelopathy; chromosomal aberrations; phytotoxicity; mitotic index; root growth

1 INTRODUÇÃO

A família Fabaceae está entre as maiores famílias de angiospermas e desempenha papel importante tanto nos ecossistemas naturais quanto nos sistemas agrícolas, especialmente por sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio e contribuição para a recuperação de áreas degradadas (SANTOS, 2022; LPWG, 2013). Entre suas espécies tropicais, *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. destaca-se pela versatilidade de usos nos sistemas agropecuários, sendo empregada como forrageira, além de apresentar elevada produção de biomassa e capacidade de formação de cobertura vegetal, características que contribuem para a proteção do solo e o controle da erosão (VALENTIM; ANDRADE, 2005; CABRAL; SOUSA, 2017; OPOKU, 2026). Além de sua importância agropecuária, *P. phaseoloides* apresenta histórico de uso medicinal tradicional, incluindo aplicações relacionadas ao tratamento de afecções cutâneas e úlceras (BRUCE; ONYEMAILU; ORJI, 2021). Contudo, o crescimento vigoroso e o hábito trepador da espécie, associados à sua elevada capacidade de estabelecimento, favorecem sua persistência e expansão para além das áreas destinadas ao cultivo. Na Amazônia brasileira, esse comportamento já foi registrado no Acre, onde *P. phaseoloides* ocorre como espécie exótica invasora, formando extensas coberturas sobre a vegetação nativa e podendo interferir na regeneração de outras espécies (LIESENFELD; SOUZA; AMORIM, 2022).

O estabelecimento e a expansão de *P. phaseoloides* evidenciam seu potencial competitivo, que pode ser favorecido por diferentes mecanismos, entre os quais se destaca a alelopatia, caracterizada pela liberação de compostos químicos capazes de interferir direta ou indiretamente na germinação, no crescimento e no desenvolvimento de outras plantas (RICE, 1984; FERREIRA; AQUILA, 2000). Em *P. phaseoloides*, estudos fitoquímicos demonstraram a presença de diferentes classes de metabólitos secundários, incluindo alcaloides, flavonoides, saponinas, taninos e triterpenoides (OKOYE; BRUCE; ONYEGBULE, 2020; OGUGOR et al., 2019). Além disso, compostos com atividade fitotóxica já foram isolados da espécie, como a alpinumisoflavona, a 4'-metil-alpinumisoflavona e seus derivados, reforçando seu potencial alelopático (ARRUDA et al., 2005).

Estudos experimentais demonstraram que extratos de *P. phaseoloides* promovem redução da germinação e do crescimento inicial de diferentes espécies vegetais, com intensidade dependente da concentração utilizada, indicando interferência em processos fisiológicos fundamentais ao estabelecimento das plantas expostas (SOUZA FILHO; ALVES,

1998; ARRUDA et al., 2005; FERREIRA; AQUILA, 2000). Embora o potencial fitotóxico de *P. phaseoloides* esteja relativamente bem documentado, ainda são limitadas as informações sobre os mecanismos celulares envolvidos nesses efeitos, especialmente aqueles relacionados à atividade proliferativa, à distribuição das fases mitóticas, à morte celular e à integridade genética de organismos vegetais expostos, parâmetros amplamente empregados na avaliação citogenética em modelos vegetais expostos a extratos vegetais (SOUSA et al., 2010; ARUNACHALAM et al., 2012). Essa lacuna limita a compreensão dos processos celulares potencialmente afetados pelos compostos produzidos pela espécie, evidenciando a importância de estudos que associem parâmetros fisiológicos e citogenéticos para uma avaliação mais abrangente de seus efeitos biológicos.

A compreensão desses mecanismos pode contribuir para futuras pesquisas voltadas ao desenvolvimento de bioherbicidas, que surgem como alternativas promissoras aos herbicidas sintéticos tradicionalmente empregados na agricultura, cujos resíduos causam danos ambientais e favorecem a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes (DAYAN; DUKE, 2014; PROCÓPIO et al., 2024). Nesse contexto, parâmetros como índice mitótico, distribuição das fases mitóticas, frequência de núcleos heteropicnóticos e ocorrência de aberrações cromossômicas constituem importantes biomarcadores para a detecção de efeitos citotóxicos e genotóxicos (ÇELIK, 2012; SOUSA et al., 2010; ARUNACHALAM et al., 2012; DUARTE et al., 2024). A utilização conjunta desses indicadores permite uma avaliação mais abrangente dos possíveis impactos dos aleloquímicos sobre a atividade proliferativa, a viabilidade celular e a integridade do material genético, contribuindo para a elucidação de seus mecanismos de ação e de suas potenciais implicações ecológicas e agronômicas.

Para essa avaliação, *Lactuca sativa* L. é amplamente utilizada como organismo-teste em estudos de toxicologia vegetal devido à sua elevada sensibilidade a compostos aleloquímicos e à facilidade de observação dos efeitos provocados pelos tratamentos experimentais (FERREIRA; AQUILA, 2000; DUARTE et al., 2024). Essas características permitem a investigação integrada de alterações relacionadas à germinação, ao crescimento inicial, à divisão celular e à integridade genética, justificando sua frequente utilização em bioensaios vegetais (LIMA et al., 2023; Rosa et al., 2025).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de diferentes concentrações do extrato aquoso de *P. phaseoloides* sobre a germinação, o crescimento radicular e parâmetros citogenéticos de *L. sativa* L., visando investigar possíveis alterações associadas à atividade

proliferativa celular, à distribuição das fases mitóticas, à morte celular e à integridade genética.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal

Para a realização do experimento, foram coletadas, entre abril e maio de 2025, folhas sadias de *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. cultivadas em canteiros na Estação Experimental de Cultivo e Manutenção de Plantas da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), sob as coordenadas geográficas 21°46'48.1''S e 43°22'25.5''W. As plantas doadoras foram mantidas sob condições ambientais naturais de luminosidade e hidratação exclusiva por precipitação pluvial, em solo característico da região e sem a aplicação de adubação controlada.

2.2 Obtenção dos extratos aquosos

Após a coleta, o material vegetal foi transportado ao Laboratório de Genética e Biotecnologia da UFJF, onde as folhas foram separadas, acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa a 60 °C até que a massa fosse constante. Em seguida, o material desidratado foi processado com o auxílio de um liquidificador para a obtenção de um pó uniforme.

Inicialmente, obteve-se um extrato aquoso bruto (concentração de 10% p/v) por meio da mistura de 100 g do material foliar seco em 1 L de água destilada. O recipiente foi selado com papel alumínio para evitar a fotodegradação de compostos e mantido em repouso por 24 horas, em local desprovido de luz, com o material vegetal submerso na água destilada e sem agitação durante todo o período de extração. Após esse período, o material vegetal foi removido por filtração, obtendo-se o extrato bruto. As concentrações utilizadas no experimento foram preparadas a partir desse extrato, considerando-se como 100% o extrato bruto sem diluição. Para os tratamentos de 25%, 50% e 75%, foram utilizados, respectivamente, 25, 50 e 75 mL do extrato bruto, completando-se cada solução com água destilada até o volume final de 100 mL. Como grupo controle, foram utilizados 100 mL de água destilada (ÇELIK; ASLANTÜRK, 2007).

2.3 Teste de germinação e fitotoxicidade

Para a avaliação do potencial fitotóxico, foram utilizadas sementes de alface, *Lactuca sativa* L., como sistema-teste vegetal, seguindo a metodologia descrita por Sousa et al. (2010). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), com três repetições por tratamento, em que cada placa de Petri foi considerada uma unidade experimental, contendo 50 sementes, totalizando três placas e 150 sementes por tratamento. As placas foram forradas com papel-filtro e umedecidas com as respectivas concentrações dos extratos, sendo mantidas em sala de crescimento, sob condições controladas de temperatura e iluminação, durante todo o período experimental. Ao longo do período de exposição, a umidade do papel-filtro foi acompanhada e, sempre que necessário, as placas foram novamente umedecidas com a respectiva solução de tratamento, visando manter condições adequadas de umidade para a germinação e o desenvolvimento das plântulas. A porcentagem de germinação e o crescimento radicular foram avaliados após 24, 48 e 72 horas de exposição. O critério de germinação adotado foi a protrusão da radícula com curvatura geotrópica positiva (FERREIRA; AQUILA, 2000; SOUSA et al., 2010). Para a mensuração precisa do comprimento radicular, as plântulas foram fotografadas e as imagens processadas no software ImageJ (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012).

2.4 Análise citogenética

Ao final de 72 horas de exposição, raízes provenientes das plântulas germinadas foram coletadas e fixadas em solução de Carnoy (etanol e ácido acético glacial, 3:1 v/v) por 24 horas em temperatura ambiente (SOUSA et al., 2010; SILVA, 2025), sendo posteriormente armazenadas sob refrigeração. A confecção das lâminas seguiu o método convencional de esmagamento (GUERRA; SOUZA, 2002), com a imersão das lâminas em nitrogênio líquido por 1 minuto para a remoção da lamínula.

Após a secagem, as células meristemáticas foram coradas por 15 minutos com solução de Giemsa a 5%, conforme o protocolo estabelecido por Guerra e Souza (2002). A análise microscópica foi conduzida em microscópio óptico Olympus BX 51. Foram confeccionadas 3 lâminas para cada repetição, totalizando 9 lâminas por tratamento, e em cada lâmina, foram analisadas pelo menos 1.200 células. (CAMPOS et al., 2008).

A análise do ciclo celular e das alterações cromossômicas foi realizada conforme proposto por Sousa et al. (2010), obtendo-se o Índice Mitótico (IM), a taxa de núcleos

heteropícnóticos utilizada como indicador de morte celular, o Índice Total de Alterações (ITA) e a distribuição das fases mitóticas. As alterações cromossômicas observadas durante a análise microscópica foram registradas para posterior avaliação de sua frequência e distribuição entre os tratamentos (SOUSA et al., 2010; ÇELIK; ASLANTÜRK, 2007).

2.5 Análises estatísticas

A germinação foi analisada por modelo linear generalizado (GLM) com distribuição binomial e redução de viés, considerando os efeitos de tratamento, tempo de exposição e sua interação. O crescimento radicular foi analisado por modelo linear após transformação logarítmica da variável resposta [$\log(x + 1)$], considerando tratamento, tempo de exposição e sua interação como fatores explicativos.

Para os parâmetros citogenéticos, o índice mitótico e a taxa de núcleos heteropícnóticos foram analisados por GLM com distribuição binomial. O Índice Total de Alterações (ITA) foi analisado por GLM com distribuição quasi-Poisson, utilizando o logaritmo do número total de células avaliadas como offset. As proporções das fases mitóticas foram analisadas por GLM com distribuição quasibinomial, considerando a frequência relativa de cada fase em relação ao total de células em divisão.

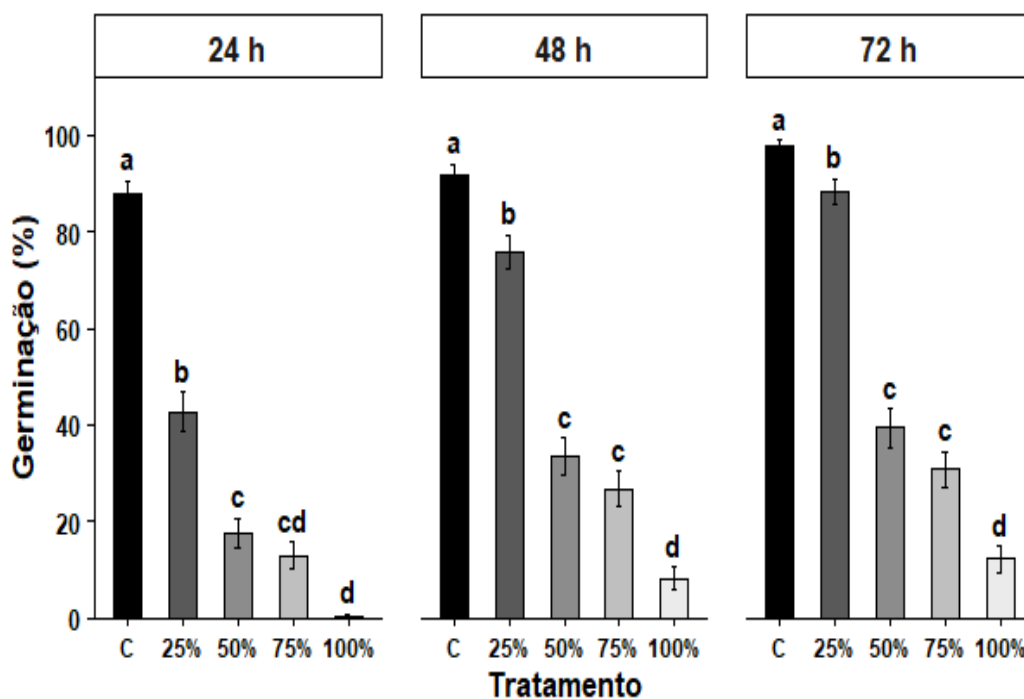
Quando observadas diferenças significativas, as comparações entre tratamentos foram realizadas por estimativas marginais (EMMeans), com ajuste de Sidak, adotando-se $p < 0,05$. Adicionalmente, a tendência dose-resposta foi avaliada por regressão, utilizando a concentração do extrato como variável numérica, e por correlação de Spearman. Todas as análises foram executadas no ambiente R, por meio da interface RStudio.

3 RESULTADOS

A germinação de *Lactuca sativa* foi influenciada pelas diferentes concentrações do extrato aquoso de *Pueraria phaseoloides* ao longo do período experimental (Figura 1). Observou-se redução da germinação nos tratamentos expostos ao extrato, sendo o efeito mais evidente nas concentrações de 75% e 100%. Após 24 horas de exposição, não foi observada germinação das sementes submetidas à concentração de 100%. Diferenças significativas foram detectadas entre as concentrações avaliadas ao longo dos períodos experimentais ($p < 0,05$). Adicionalmente, observou-se forte correlação negativa entre a concentração do extrato

e a germinação após 72 horas de exposição ($\rho = -0,983$), evidenciando resposta dose-dependente para esse parâmetro.

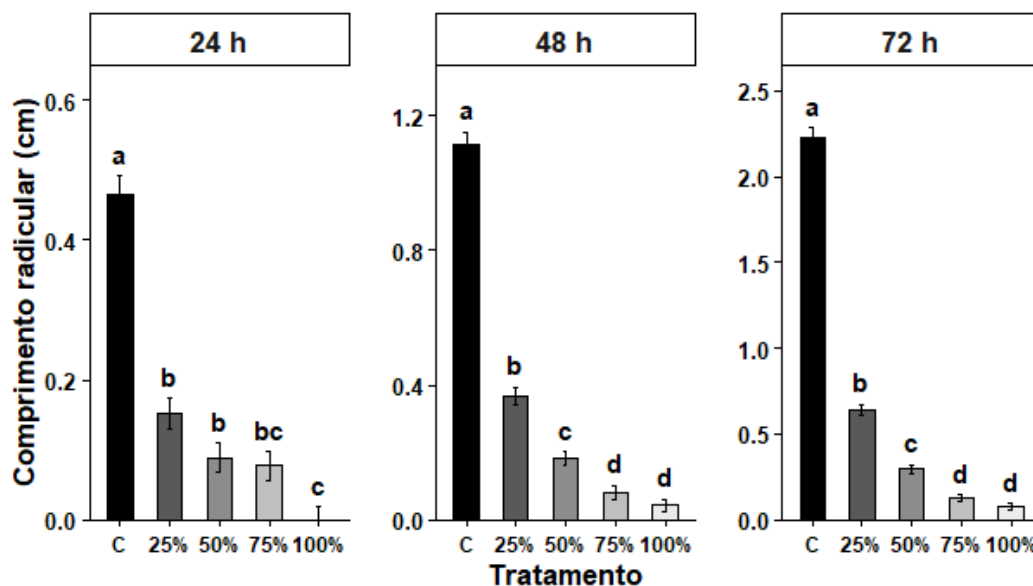
Figura 1 – Efeito de diferentes concentrações do extrato aquoso de *P. phaseoloides* sobre a germinação de sementes de *L. sativa* após 24, 48 e 72 horas de exposição.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O comprimento radicular foi significativamente afetado pela exposição ao extrato aquoso de *P. phaseoloides* (Figura 2). O comprimento radicular apresentou redução progressiva entre as concentrações avaliadas, com os menores valores registrados nos tratamentos de 50%, 75% e 100%. A concentração de 100% apresentou os menores comprimentos radiculares em todos os períodos analisados. O efeito inibitório tornou-se mais evidente após 48 horas de exposição, sendo mais acentuado ao final de 72 horas. As concentrações e os tempos de exposição influenciaram significativamente o crescimento radicular ($p < 0,05$). Também foi observada forte correlação negativa entre a concentração do extrato e o comprimento radicular após 72 horas de exposição ($\rho = -0,971$), corroborando o padrão dose-dependente observado para esse parâmetro.

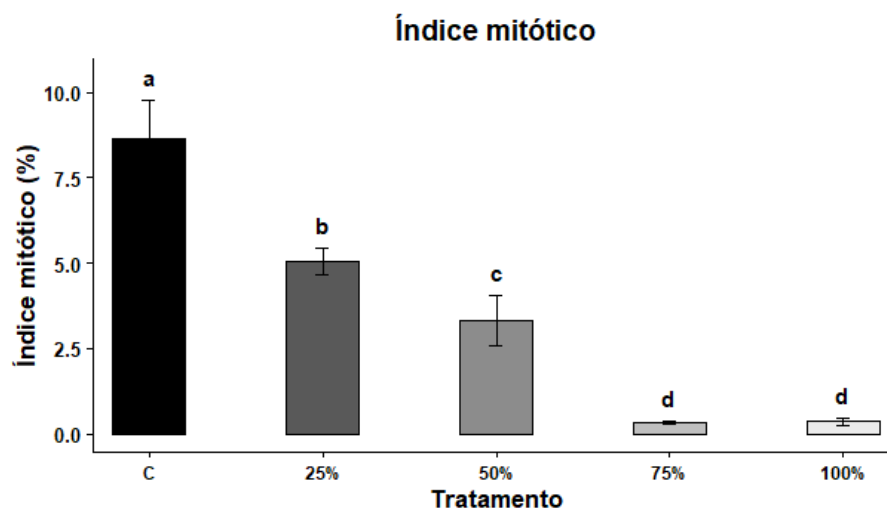
Figura 2 – Efeito de diferentes concentrações do extrato aquoso de *P. phaseoloides* sobre o comprimento radicular de plântulas de *L. sativa* após 24, 48 e 72 horas de exposição.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A exposição ao extrato aquoso de *P. phaseoloides* promoveu redução do índice mitótico das células meristemáticas de *L. sativa* (Figura 3). O índice mitótico diminuiu progressivamente entre as concentrações avaliadas. O maior índice mitótico foi registrado no grupo controle, enquanto as concentrações de 25% e 50% apresentaram valores intermediários, seguidas pelas menores médias observadas em 75% e 100%. Diferenças significativas foram identificadas entre os tratamentos avaliados ($p < 0,05$). Adicionalmente, verificou-se forte correlação negativa entre a concentração do extrato e o índice mitótico ($p = -0,927$), indicando redução da atividade proliferativa com o aumento da concentração.

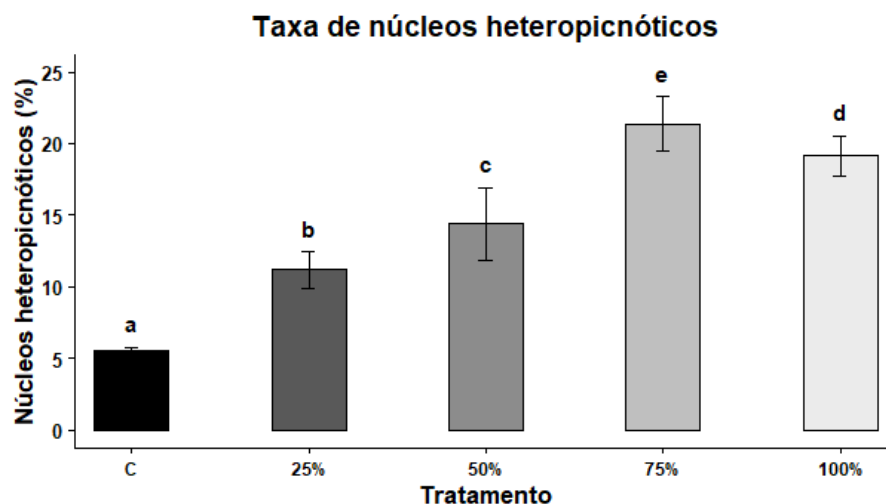
Figura 3 – Índice mitótico de células meristemáticas de *L. sativa* expostas a diferentes concentrações do extrato aquoso de *P. phaseoloides*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A taxa de núcleos heteropícnóticos aumentou progressivamente com a elevação da concentração do extrato aquoso de *P. phaseoloides* (Figura 4). As maiores taxas ocorreram nos tratamentos de 75% e 100%, enquanto o grupo controle apresentou o menor valor registrado. Os tratamentos diferiram significativamente quanto à taxa de núcleos heteropícnóticos ($p < 0,05$). Foi observada ainda forte correlação positiva entre a concentração do extrato e a taxa de núcleos heteropícnóticos ($p = 0,884$), evidenciando aumento desse parâmetro com a elevação da concentração do extrato.

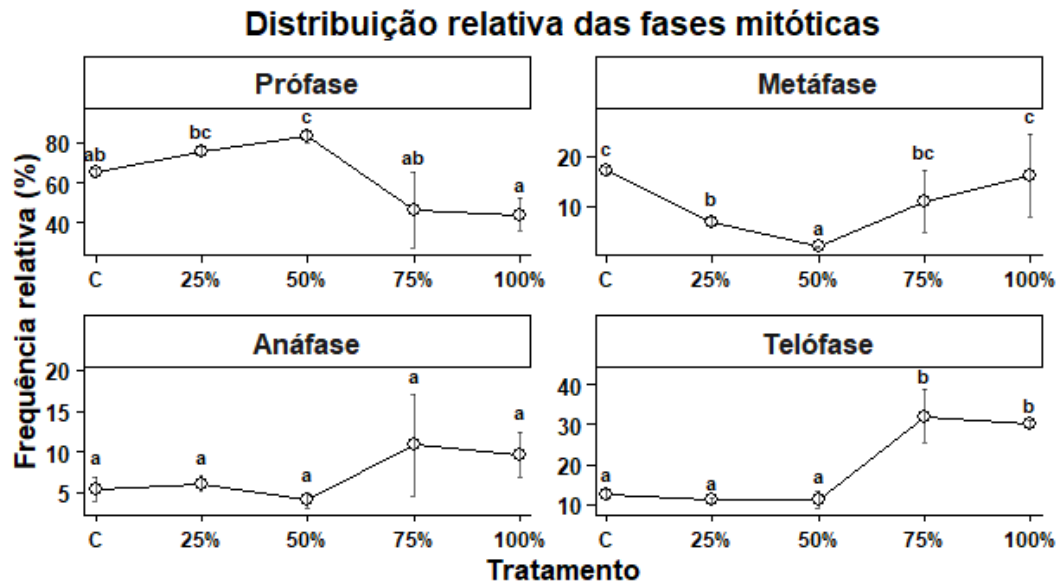
Figura 4 – Taxa de núcleos heteropícnóticos em células meristemáticas de *L. sativa* expostas a diferentes concentrações do extrato aquoso de *P. phaseoloides*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A distribuição relativa das fases mitóticas foi influenciada pela exposição ao extrato aquoso de *P. phaseoloides* (Figura 5). A frequência relativa de prófase foi mais elevada nas concentrações de 25% e 50%, com valor máximo registrado em 50%, enquanto as concentrações de 75% e 100% apresentaram menores frequências relativas dessa fase. Em contrapartida, a frequência relativa de metáfase apresentou redução principalmente nas concentrações de 25% e 50%, seguida de aumento nas maiores concentrações avaliadas (75% e 100%). A frequência relativa de anáfase não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. A telófase apresentou aumento expressivo nas concentrações de 75% e 100%, que exibiram os maiores percentuais observados para essa fase. A distribuição das fases mitóticas foi significativamente alterada pelos tratamentos avaliados ($p < 0,05$), com exceção da anáfase.

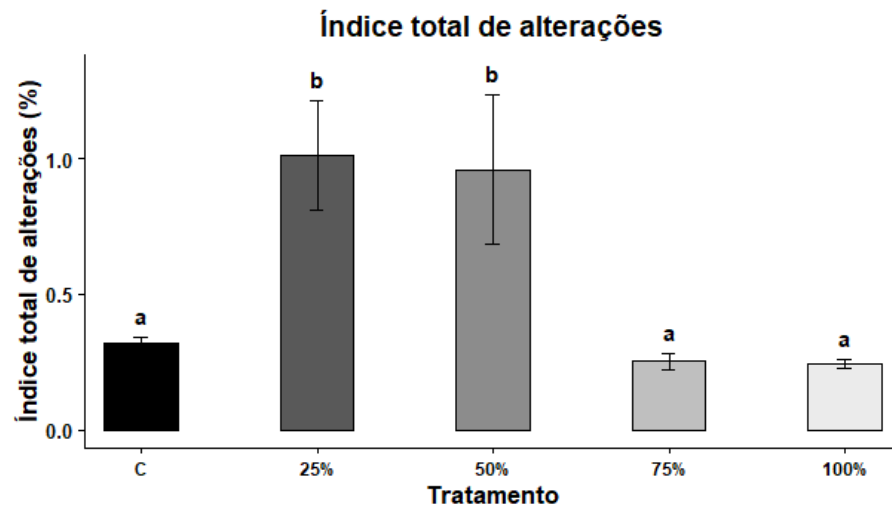
Figura 5 – Distribuição relativa das fases mitóticas em células meristemáticas de *L. sativa* expostas a diferentes concentrações do extrato aquoso de *P. phaseoloides*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O índice total de alterações foi influenciado pela exposição ao extrato aquoso de *P. phaseoloides* (Figura 6). Os maiores valores foram registrados nas concentrações de 25% e 50%, indicando aumento desse parâmetro em relação ao grupo controle. Nas concentrações de 75% e 100%, observou-se redução do índice total de alterações, com valores próximos aos observados no controle. As diferenças observadas para o índice total de alterações foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Em contraste com os demais parâmetros analisados, o índice total de alterações apresentou correlação negativa de magnitude moderada com a concentração ($\rho = -0,535$), refletindo o comportamento não monotônico observado ao longo dos tratamentos.

Figura 6 – Índice total de alterações cromossômicas em células meristemáticas de *L. sativa* expostas a diferentes concentrações do extrato aquoso de *P. phaseoloides*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

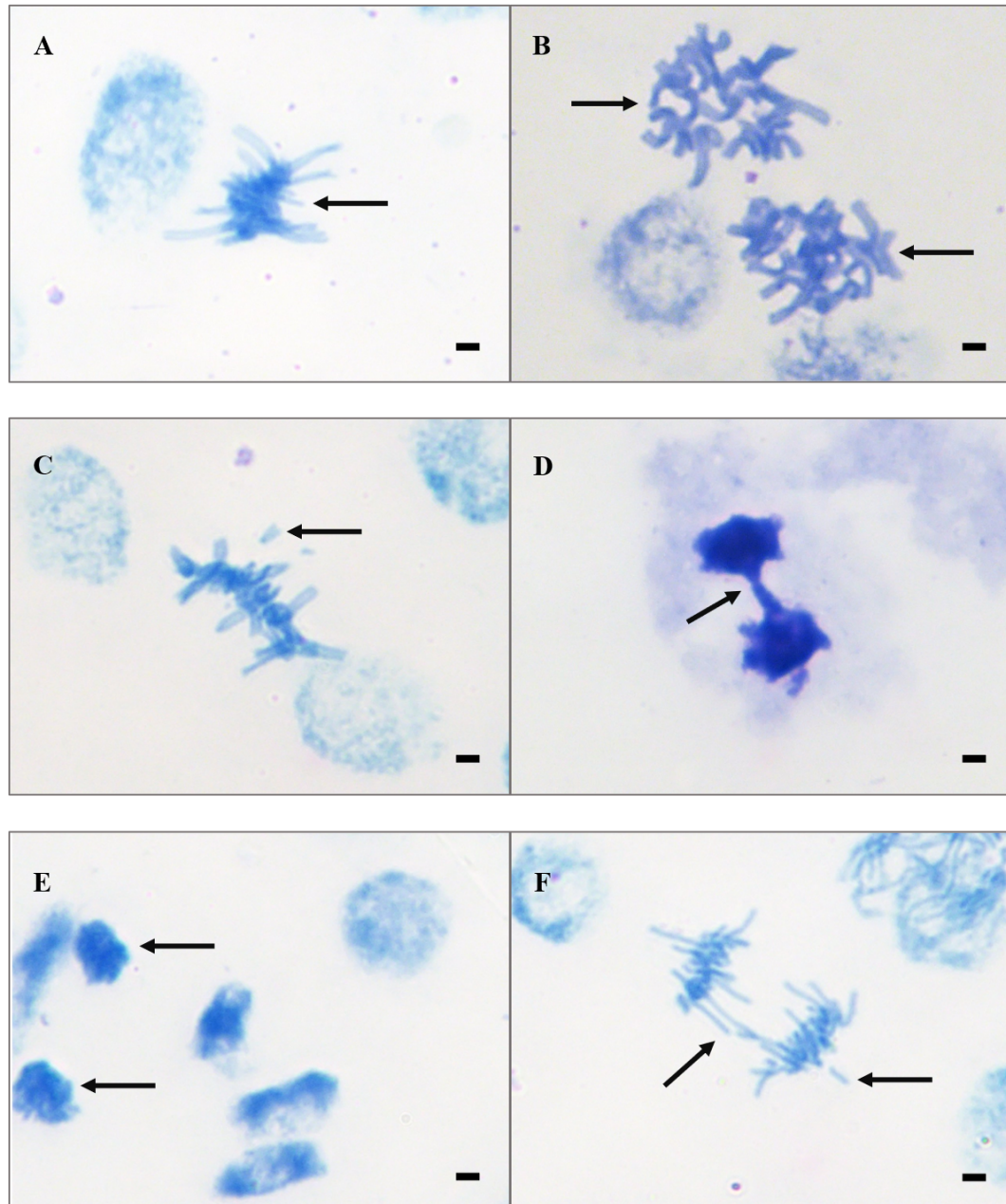
As alterações cromossômicas observadas nas células meristemáticas de *L. sativa* estão presentes na Tabela 1. A aderência cromossômica foi a alteração mais frequente, correspondendo a 50,7% do total de alterações registradas, seguida pela C-metáfase (25,4%) e pela ponte cromossômica em anáfase (13,3%). Em conjunto, essas alterações representaram a maior parte dos eventos observados durante o experimento, enquanto as demais alterações ocorreram em baixas frequências.

Tabela 1 – Frequência absoluta (n) e relativa (%) das alterações cromossômicas observadas em células meristemáticas de *L. sativa* expostas ao extrato aquoso de *P. phaseoloides*.

Alteração cromossômica	n	(%)
Aderência cromossômica	172	50,7
C-metáfase	86	25,4
Ponte cromossômica em anáfase	45	13,3
Ponte cromossômica em telófase	7	2,1
Quebra cromossômica em metáfase	6	1,8
Perda cromossômica em metáfase	5	1,5
Perda cromossômica em anáfase	5	1,5
Núcleo lobulado	4	1,2
Quebra cromossômica em anáfase	3	0,9
Ponte/perda cromossômica em anáfase	3	0,9
Quebra cromossômica em telófase	2	0,6
Célula binucleada	1	0,3
Total	339	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 7 – Fotomicrografias das alterações cromossômicas observadas em células meristemáticas de *L. sativa* expostas ao extrato aquoso de *P. phaseoloides*. (A) aderência cromossômica; (B) C-metáfase; (C) quebra cromossômica em metáfase; (D) ponte cromossômica em telófase; (E) núcleos heteropicnóticos; (F) ponte/perda cromossômica em anáfase. As setas indicam as alterações observadas. Barra de escala = 10 µm.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4 DISCUSSÃO

O extrato aquoso de *Pueraria phaseoloides* reduziu a germinação de *Lactuca sativa*, com intensificação dos efeitos nas maiores concentrações e manutenção da resposta inibitória ao longo de todo o período experimental. Resultados semelhantes foram descritos por

Souza-Filho e Alves (1998), que observaram redução da germinação de espécies receptoras expostas a extratos de *P. phaseoloides*. De forma complementar, Arruda et al. (2005) isolaram compostos alelopáticos da espécie, incluindo alpinumisoflavona e 4'-metil-alpinumisoflavona, reforçando o papel dessas substâncias nos efeitos fitotóxicos observados.

A ação desses compostos pode estar associada à interferência em processos fisiológicos essenciais à retomada do metabolismo das sementes após a embebição, incluindo alterações na permeabilidade e integridade das membranas celulares, redução da absorção de água e comprometimento da mobilização de reservas (FERREIRA; AQUILA, 2000; CHENG; CHENG, 2015). Além disso, aleloquímicos podem afetar a atividade de enzimas hidrolíticas envolvidas na degradação de substâncias de reserva e promover alterações no balanço hormonal, especialmente nas vias reguladas por giberelinas e ácido abscísico, comprometendo o crescimento do embrião e a protrusão da radícula (MUSHTAQ; SIDDIQUI; HAKEEM, 2020; CHENG; CHENG, 2015). Esses resultados sugerem que os compostos presentes no extrato de *P. phaseoloides* podem interferir em eventos fisiológicos fundamentais ao estabelecimento inicial das plântulas.

O extrato aquoso de *P. phaseoloides* promoveu expressiva redução do crescimento radicular de *L. sativa*, com efeitos mais intensos nas maiores concentrações e nos períodos mais longos de exposição. Achados semelhantes têm sido reportados em bioensaios com diferentes extratos vegetais, nos quais o crescimento radicular apresentou elevada sensibilidade à ação de aleloquímicos (ANESE et al., 2007; CIPRIANI et al., 2014). A elevada sensibilidade deste parâmetro está relacionada ao contato direto das raízes com os compostos presentes no meio, bem como à intensa atividade metabólica e proliferativa dos tecidos meristemáticos radiculares (FERREIRA; AQUILA, 2000). Além disso, os aleloquímicos podem interferir na respiração celular e reduzir a disponibilidade de ATP, comprometendo processos essenciais ao crescimento vegetal, como divisão e alongamento celular (CRUZ ORTEGA; ANAYA; RAMOS, 1988). Essas alterações podem limitar o desenvolvimento inicial das plântulas e afetar a atividade proliferativa da região meristemática (CHENG; CHENG, 2015).

Da mesma forma, o extrato aquoso de *P. phaseoloides* promoveu redução expressiva do índice mitótico de *L. sativa*, indicando diminuição da proliferação celular. A forte correlação negativa observada entre a concentração do extrato e o índice mitótico reforça a ocorrência de um efeito citotóxico dose-dependente semelhante ao observado em estudos

recentes com extratos vegetais avaliados em sistemas-teste vegetais (BARMAN; RAY, 2022; SILVA, 2025), que acompanha a restrição do crescimento radicular verificada anteriormente.

A diminuição do índice mitótico é amplamente reconhecida como um importante indicativo de citotoxicidade em bioensaios vegetais, refletindo a capacidade de determinados compostos em interferir na progressão normal do ciclo celular (ÇELIK, 2012; LUBINI et al., 2008). Resultados semelhantes foram descritos por Sousa et al. (2010), que observaram redução da atividade proliferativa em sistemas-teste vegetais expostos a extratos aquosos de *Cymbopogon citratus*, bem como por Iganci et al. (2006) e Cuchiara et al. (2007), que associaram a diminuição do índice mitótico à ação antiproliferativa de extratos vegetais. Mais recentemente, Barman e Ray (2022) observaram redução progressiva do índice mitótico acompanhada pela indução de alterações cromossômicas em células meristemáticas expostas a extratos vegetais, reforçando que a diminuição da atividade proliferativa constitui um dos principais indicadores da citotoxicidade desses compostos.

Esse efeito pode estar relacionado à interferência dos aleloquímicos em mecanismos reguladores do ciclo celular, promovendo atrasos ou bloqueios nos pontos de checagem e reduzindo o número de células capazes de completar a divisão (MAJEWSKA et al., 2003; ÇELIK, 2018). Além disso, alterações na síntese de DNA, no metabolismo energético e em estruturas essenciais à divisão celular podem comprometer a progressão mitótica, o que resulta na redução da atividade mitótica tecidual (CRUZ ORTEGA; ANAYA; RAMOS, 1988; HSIEH et al., 2012). A redução da divisão celular observada contribui para explicar a limitação do crescimento radicular, evidenciando a estreita relação entre a dinâmica do ciclo celular e o desenvolvimento inicial das plântulas.

A redução do índice mitótico observada neste estudo foi acompanhada por alterações na distribuição relativa das fases mitóticas e pela indução de aberrações cromossômicas, indicando que o extrato aquoso de *P. phaseoloides* interferiu diretamente na progressão do ciclo celular. Nas concentrações de 25% e 50%, verificou-se aumento da frequência relativa de prófase, associado à redução da metáfase, sugerindo atraso na transição entre as fases iniciais da mitose. Em contrapartida, nas concentrações de 75% e 100%, observou-se aumento relativo de metáfase e telófase, evidenciando comprometimento mais intenso da dinâmica mitótica. Embora El Shatshat et al. (2025) tenham relatado um cenário de superestimulação mitótica global, os autores também identificaram distúrbios severos na distribuição das fases

mitóticas induzidos por extratos vegetais aquosos, evidenciando que flutuações nessas frequências são fortes indicativos de toxicidade celular.

Alterações na frequência relativa das fases mitóticas são frequentemente associadas à ativação de pontos de checagem do ciclo celular e ao comprometimento da montagem do fuso mitótico, o que resulta em atrasos ou bloqueios na progressão da divisão celular (MAJEWSKA et al., 2003; ABDEL TAWAB; ADAM; SOBIEH, 2014). O aumento relativo de metáfases nas maiores concentrações, associado à elevada frequência de C-metáfases observada neste estudo, sugere interferência na dinâmica de polimerização dos microtúbulos e na organização do fuso mitótico, promovendo o bloqueio da transição metáfase-anáfase. Esse padrão é característico de agentes com ação aneugênica e semelhante ao efeito induzido pela colchicina, que impede a segregação adequada dos cromossomos (CHAKRABORTY et al., 2021; YAMADA; GOSHIMA, 2017; LIU; LEE, 2022).

A aderência cromossômica foi a alteração mais frequente, correspondendo a 50,7% do total de aberrações registradas, seguida pela C-metáfase (25,4%) e pelas pontes cromossômicas em anáfase (13,3%). A predominância de aderências sugere alterações na organização da cromatina, com perda da individualização cromossômica e formação de conexões anormais entre cromossomos ou cromátides, sendo essa alteração considerada uma importante evidência de citotoxicidade em bioensaios vegetais (KLASTERSKÁ; NATARAJAN; RAMEL, 1976; KUMAR; CHAUDHARY, 2015; BARMAN; RAY, 2022).

Esse tipo de alteração pode comprometer a movimentação cromossômica durante a divisão celular, favorecer erros de segregação e contribuir para a formação de pontes cromossômicas nas fases subsequentes (KUMAR; CHAUDHARY, 2015). A ocorrência concomitante de quebras e perdas cromossômicas, embora em menor frequência, reforça a presença de danos estruturais e numéricos ao material genético, evidenciando a atuação simultânea de mecanismos clastogênicos e aneugênicos (PUGLIESI et al., 2007; CHAKRABORTY et al., 2021).

Em conjunto, os resultados sugerem que os aleloquímicos presentes no extrato de *P. phaseoloides* comprometem a dinâmica mitótica por meio da desorganização do fuso, da alteração da estrutura cromatínica e de falhas na segregação cromossômica, culminando em instabilidade genômica nas células de *L. sativa*. Padrão semelhante foi relatado para outros extratos vegetais com potencial alelopático e citogenotóxico, nos quais a redução da atividade

mitótica foi acompanhada por alterações nas fases mitóticas e aumento de aberrações cromossômicas (YUAN et al., 2019; MUSHTAQ et al., 2019; ALVES et al., 2024).

O padrão observado nas alterações cromossômicas refletiu-se no índice total de alterações, que apresentou maiores valores nas concentrações intermediárias e redução nas concentrações mais elevadas. Esse comportamento não monotônico sugere que a frequência de aberrações cromossômicas depende da disponibilidade de células em divisão, sendo influenciada pela intensidade do efeito citotóxico promovido pelo extrato (VIEIRA; SILVEIRA, 2017; SOUSA et al., 2010). Curiosamente, uma curva de resposta semelhante foi descrita por El Shatshat et al. (2025), que reportaram a maior incidência de anormalidades celulares na concentração intermediária de 5%, reforçando o caráter dose-dependente das aberrações, mesmo sob diferentes modulações do índice mitótico.

Nas concentrações intermediárias, a manutenção parcial da atividade mitótica favoreceu a expressão das alterações induzidas pelos aleloquímicos. Em contrapartida, a redução do índice mitótico nas maiores concentrações pode ter diminuído a disponibilidade de células em divisão, limitando a expressão de aberrações cromossômicas e contribuindo, assim, para a diminuição do índice total de alterações observada nesses tratamentos (YUAN et al., 2019; ALVES et al., 2024).

O aumento da taxa de núcleos heteropicnóticos em resposta à exposição ao extrato aquoso de *P. phaseoloides* indica comprometimento progressivo da viabilidade celular, corroborado pela forte correlação positiva observada entre a concentração do extrato e a frequência dessa alteração. Núcleos heteropicnóticos caracterizam-se pela intensa condensação da cromatina e pela redução do volume nuclear, sendo amplamente reconhecidos como indicadores de morte celular e citotoxicidade em bioensaios vegetais (SOUSA et al., 2010; VIEIRA; SILVEIRA, 2017; DUARTE et al., 2024).

O aumento dessa alteração sugere que os danos induzidos pelos aleloquímicos ultrapassaram a capacidade de manutenção da homeostase celular, culminando na eliminação de células com danos irreversíveis (MUSHTAQ et al., 2019; YUAN et al., 2019). Esse padrão é consistente com a redução do índice mitótico e com as alterações observadas na dinâmica mitótica e na integridade cromossômica, podendo também contribuir para a diminuição do índice total de alterações nas maiores concentrações, em razão da menor disponibilidade de células viáveis e aptas à divisão (ALVES et al., 2024; SOUSA et al., 2010).

5 CONCLUSÃO

No presente estudo, verificou-se que o extrato aquoso de *Pueraria phaseoloides* apresentou efeitos fitotóxicos, citotóxicos e genotóxicos sobre *Lactuca sativa*, promovendo alterações dependentes da concentração na germinação, no crescimento radicular, na atividade proliferativa e na integridade genética das células meristemáticas. Os resultados evidenciam o potencial alelopático da espécie e ampliam o conhecimento sobre os mecanismos celulares envolvidos em sua ação biológica. Estudos futuros envolvendo a caracterização fitoquímica do extrato, o isolamento dos compostos bioativos e a investigação dos mecanismos moleculares associados aos efeitos observados poderão contribuir para a compreensão mais aprofundada do potencial de aplicação dessa espécie em diferentes contextos agrônômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS

- ABDEL TAWAB, S.; ADAM, Z. M.; SOBIEH, S. S. Assessment of *Punica granatum* L. extract on the mitotic arrest of plant bioassay system. *Life Science Journal*, v. 11, n. 8, p. 757–770, 2014.
- ALVES, S. M.; SANTOS, L. S. Natureza química dos agentes alelopáticos. In: SOUZA FILHO, A. P. S.; ALVES, S. M. (org.). *Alelopatia: princípios básicos e aspectos gerais*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. p. 25–47.
- AMARAL, I. S. et al. Potencial citogenotóxico de extratos aquosos de pimenta-rosa. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, Londrina, v. 38, n. 1, supl. 1, p. 222, 2017.
- ANESE, S.; WANDSCHEER, A. C. D.; MARTINAZZO, E. G.; PASTORINI, L. H. Atividade alelopática de *Ateleia glazioviana* Baill. (timbó) sobre *Lactuca sativa* L. (alface). *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 147–149, jul. 2007.
- ARRUDA, M. S. P.; ARAÚJO, M. Q. de; LÔBO, L. T.; SOUZA FILHO, A. P. de; ALVES, S. M.; SANTOS, L. S. da; MÜLLER, A. H.; ARRUDA, A. C.; GUILHON, G. M. S. P. Potential allelochemicals isolated from *Pueraria phaseoloides*. *Allelopathy Journal*, v. 15, n. 2, p. 211–220, 2005.
- ASLANTÜRK, Ö. S.; ÇELİK, T. A. Antioxidant, cytotoxic and apoptotic activities of extracts from medicinal plant *Euphorbia platyphyllos* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, v. 7, n. 19, p. 1293–1304, 2013.
- BABALOLA, R. K. *The effect of methanol extract of Pueraria phaseoloides (kudzu root) on the sperm parameters of Wistar rats*. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Trabalho de conclusão de curso

(Bachelor of Science Honours in Anatomy) – Department of Anatomy, Faculty of Basic Medical Sciences, College of Medicine, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.

BARMAN, Anuva; RAY, Sanjib. Mitotic index reduction and cytotoxic effects of leaf aqueous extract of *Maesa macrophylla* (Wall.) A. DC. in *Allium cepa* root tip cells. *Cytologia*, Tokyo, v. 87, n. 2, p. 81–85, 2022. DOI: 10.1508/cytologia.87.81.

BORELLA, J.; WANDSCHEER, A. C. D.; BONATTI, L. C.; PASTORINI, L. H. Efeito alelopático de extratos aquosos de *Persea americana* Mill. sobre *Lactuca sativa* L. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 260–265, 2009.

BROL, A.; GROTTTO, A. G.; ZAIONS, M. I. M.; BAGATINI, K. P. Efeito citotóxico e genotóxico de *Sedum praealtum* A. DC. – Crassulaceae. *Evidência*, v. 22, n. 1, p. 25–36, 2022.

BRUCE, Stella O.; ONYEMAILU, V. O.; ORJI, C. E. Evaluation of the antiulcer activity and GC-MS spectroscopic analysis of the crude ethanolic extract of *Pueraria phaseoloides* leaf (Roxb.) Benth. (Fabaceae). *World Journal of Pharmaceutical Research*, v. 10, n. 7, p. 39–59, 2021. DOI: 10.20959/wjpr20217-20585.

CABRAL, E. G.; SOUSA, S. M. Caracterização citogenética e determinação da quantidade de DNA em *Pueraria phaseoloides* (Fabaceae). *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, Londrina, v. 38, n. 1, supl. 1, p. 116, maio/jun. 2017.

CAMACHO, L. O. et al. Allelopathic effect of cover crop extracts on germination and initial growth of weeds. *Revista Aracê*, São José dos Pinhais, v. 8, n. 5, p. 1–10, 2026. DOI: 10.56238/arev8n5-088.

CAMPOS, J. M. S. et al. Mutagenic effects due to allelopathic action of fern extracts. *Allelopathy Journal*, v. 22, n. 1, p. 143–151, 2008.

CHAKRABORTY, T.; ROY, S.; BARMAN, M.; RAY, S. Cell cycle delay and colchicine-like metaphase inducing effects of *Scutellaria discolor* Colebr. herb aqueous extract in *Allium cepa* root apical meristem cells. *Cytologia*, v. 86, n. 3, p. 255–260, 2021. DOI: 10.1508/cytologia.86.255.

CHENG, F.; CHENG, Z. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, art. 1020, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.01020.

CIPRIANI, F. A.; KAPLAN, M. A. C.; ISAIAS, R. M. S.; SOARES, G. L. G. Avaliação da fitotoxidez de *Tecoma stans* (L.) Kunth. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 21, n. 1, p. 1–7, 2014. DOI: 10.4322/floram.2014.003.

CRUZ ORTEGA, R.; ANAYA, A. L.; RAMOS, L. Effects of allelopathic compounds of corn pollen on respiration and cell division of watermelon. *Journal of Chemical Ecology*, v. 14, n. 1, p. 71–86, 1988.

CUCHIARA, C. C.; BORGES, C. S.; SOPEZKI, M. S.; SOUZA, S. A. M.; BOBROWSKI, V. L. Efeito antiproliferativo dos extratos aquosos de mamona (*Ricinus communis* L.). *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 639–641, jul. 2007.

ÇELİK, T. A. Potential genotoxic and cytotoxic effects of plant extracts. In: *A compendium of essays on alternative therapy*. Rijeka: InTech, 2012.

ÇELİK, T. A. Introductory chapter: cytotoxicity. In: *Cytotoxicity*. London: IntechOpen, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.77244.

ÇELİK, T. A.; ASLANTÜRK, Ö. S. Cytotoxic and genotoxic effects of *Lavandula stoechas* aqueous extracts. *Biologia*, v. 62, n. 3, p. 292–296, 2007. DOI: 10.2478/s11756-007-0051-2.

DJIOGUE, S. et al. Oestrogen-like and anxiolytic properties of *Pueraria phaseoloides* extracts on ovariectomized Wistar rats. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, v. 28, n. 4, 2020. DOI: 10.26717/BJSTR.2020.28.004699.

DUARTE, S. P. et al. Cytotoxicity and genotoxicity of aqueous and hydroalcoholic extracts from *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. *Ciência e Natura*, v. 46, e84759, 2024.

EL SHATSHAT, Salem; AL JAZWI, Fawzia; IDRIS, Salma Hamad. Dose–response analysis of *Moringa oleifera* (from Jalu City, Libya) leaf aqueous extracts on mitotic indices and chromosomal aberrations in *Allium cepa* bioassay. *Alqalam Journal of Medical and Applied Sciences*, v. 8, n. 4, p. 2808–2813, 2025. DOI: 10.54361/ajmas.2584105.

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

FUENTES-MOLINA, N.; VARELA-MARTÍNEZ, D. A.; GARCIA-SOLANO, D. Cultivos de cobertura como alternativa sostenible: análisis de *Pueraria phaseoloides* en suelos tropicales. *Información Tecnológica*, v. 34, n. 1, p. 47–58, 2023. DOI: 10.4067/S0718-07642023000100047.

GUO, Y. et al. Genetic diversity and community composition of arbuscular mycorrhizal fungi associated with root and rhizosphere soil of the pioneer plant *Pueraria phaseoloides*. *iMeta*, v. 1, e51, 2022. DOI: 10.1002/imt2.51.

HSIEH, Y.-J. et al. *Kalanchoe tubiflora* extract inhibits cell proliferation by affecting the mitotic apparatus. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, v. 12, p. 149, 2012. DOI: 10.1186/1472-6882-12-149.

IGANCI, J. R. V. et al. Efeito do extrato aquoso de diferentes espécies de boldo sobre a germinação e índice mitótico de *Allium cepa* L. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 79–82, jan./mar. 2006.

KLÁŠTERSKÁ, I.; NATARAJAN, A. T.; RAMEL, C. An interpretation of the origin of subchromatid aberrations and chromosome stickiness as a category of chromatid aberrations. *Hereditas*, Lund, v. 83, n. 2, p. 153–162, 1976. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1976.tb01581.x.

KOSTINA-BEDNARZ, M.; PŁONKA, J.; BARCHANSKA, H. Allelopathy as a source of bioherbicides: challenges and prospects for sustainable agriculture. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v. 22, p. 471–504, 2023. DOI: 10.1007/s11157-023-09656-1.

KUMAR, G.; CHAUDHARY, N. Sodium azide induced meiotic chromosome stickiness in *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). *International Journal of Research in Plant Science*, v. 5, n. 4, p. 32–36, 2015.

LIESENFELD, Marcus Vinicius de Athaydes; SOUZA, Andrei da Conceição; AMORIM, Marla Daniele Brito de Oliveira. Invasões biológicas: espécies de plantas invasoras ocorrentes na área urbana de Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil. In: LIESENFELD, Marcus Vinicius de Athaydes; SOUZA, Rodrigo Medeiros de; SILVA, José Alessandro Candido da; ARAÚJO, Edson Alves de (org.). *Ciências Ambientais na Amazônia*. Rio Branco: Stricto Sensu, 2022. p. 95–113. DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283761.07.

LIMA, P. A. M. et al. Allelopathic potential of aqueous extracts of *Passiflora mucronata* fruit peels on lettuce. *Australian Journal of Crop Science*, v. 17, n. 4, p. 324–331, 2023. DOI: 10.21475/ajcs.23.17.04.p3677.

LIU, B.; LEE, Y.-R. J. Spindle assembly and mitosis in plants. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v. 73, p. 227–254, 2022. DOI: 10.1146/annurev-arplant-070721-084258.

LUBINI, G.; FACHINETTO, J. M.; LAUGHINGHOUSE IV, H. D.; PARANHOS, J. T.; SILVA, A. C. F.; TEDESCO, S. B. Extracts affecting mitotic division in root-tip meristematic cells. *Biologia*, Bratislava, v. 63, n. 5, p. 647–651, 2008. DOI: 10.2478/s11756-008-0108-x.

MAJEWSKA, A. et al. Antimitotic effect, G2/M accumulation, chromosomal and ultrastructure changes in meristematic cells of *Allium cepa* L. root tips treated with the extract from *Rhodiola rosea* roots. *Caryologia*, v. 56, n. 3, p. 337–351, 2003. DOI: 10.1080/00087114.2003.10589343.

MUSHTAQ, W.; AIN, Q.; SIDDIQUI, M. B.; HAKEEM, K. R. Cytotoxic allelochemicals induce ultrastructural modifications in *Cassia tora* L. and mitotic changes in *Allium cepa* L.: a weed versus weed allelopathy approach. *Protoplasma*, Vienna, v. 256, p. 857–871, 2019. DOI: 10.1007/s00709-018-01343-1.

MUSHTAQ, W.; SIDDIQUI, M. B.; HAKEEM, K. R. *Allelopathy: potential for green agriculture*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-40807-7.

NEPOMUCENO, D. D. et al. Classes of secondary metabolites identified in three legume species. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 42, n. 10, p. 700–705, 2013.

OGUGOR, Juliet C.; AYUK, Eugene L.; OSUJI, Amara S.; CHIKEZIE, Chidimma C.; UNAEGBU, Marcellus E. Screening of the phytochemicals, antimicrobial, proximate and heavy metals compositions of *Pueraria phaseoloides* leaf extracts. *National Journal of Advanced Research*, v. 5, n. 2, p. 26–31, 2019.

OKOYE, V. O.; BRUCE, S. O.; ONYEBBULE, F. A. Phytochemical screening and pharmacognostic properties of *Pueraria phaseoloides* leaves (Roxb.) Benth. (Fabaceae). *International Journal of Public Health, Pharmacy and Pharmacology*, v. 5, n. 2, p. 11–24, 2020.

OPOKU, E. et al. Perennial legumes *Pueraria phaseoloides* and *Leucaena leucocephala* exhibit high potential for fertility restoration of degraded mined soils in Ghana. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 0, p. 1–10, 2026. DOI: 10.1002/jpln.70065.

PEREIRA, J. C. *Potencial alelopático e estudo fitoquímico dos extratos aquosos e etanólicos de Canavalia ensiformis (L.) DC e Paspalum maritimum Trind.* 2017. 145 f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2017.

PUGLIESI, G. C.; ANDRADE, S. F.; BASTOS, J. K.; MAISTRO, E. L. In vivo clastogenicity assessment of the *Austroplenckia populnea* (Celastraceae) leaves extract using micronucleus and chromosome aberration assay. *Cytologia*, v. 72, n. 1, p. 1–6, 2007.

RAI, P. D.; PAUDEL, N.; SHAKYA, S. R. Cytological effects of leaf extract of *Artemisia vulgaris* L. on meristematic cells of *Allium cepa* L. *Our Nature*, v. 10, p. 242–248, 2012.

RASHID, F. et al. Modulation of atrazine-induced chromosomal aberrations and cyclin-dependent kinases by aqueous extract of *Roylea cinerea* (D. Don) Baill. leaves in *Allium cepa*. *Scientific Reports*, v. 12, p. 12570, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-16813-z.

ROSA, Sttela Dellyzete Veiga Franco da; VILELA, Ana Luiza de Oliveira; ALVES, Marcus Vinicius Prado; CARDOSO, Maria das Graças; VIEIRA, Larissa Fonseca Andrade; FERREIRA, Ana Maria Oliveira; SILVA, Leonardo M. da. Allelopathic activity of coffee extracts: implications for germination and initial growth in select weeds and polyploidy in *Lactuca sativa* L. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, v. 88, n. 6, p. 250–262, 2025. DOI: 10.1080/15287394.2024.2434952.

SANTOS, M. C. C. *Estudo do potencial alelopático de extratos aquosos de espécies exóticas invasoras da família Fabaceae na germinação de Lactuca sativa* L. 2022. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Federal de Sergipe, Itabaiana, 2022.

SCHULZ, M.; TABAGLIO, V. Allelopathy: mechanisms and applications in regenerative agriculture. *Plants*, v. 14, art. 1565, 2025. DOI: 10.3390/plants14111565.

SHADAB, M. et al. Allelopathy: a natural approach to weed management. *Journal of Crop Health*, v. 78, art. 72, 2026. DOI: 10.1007/s10343-026-01335-9.

SILVA, J. C. S. *Avaliação do potencial citogenotóxico do extrato de Tecoma stans* (Bignoniaceae): uma espécie ornamental, invasora e com ação alelopática. 2025. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2025.

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: sinalização química e espécies reativas de oxigênio. *Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 1, n. 1, p. 9–19, 2007.

SOBIEH, S. S.; TAWAB, S. A.; FAHMY, D. M. Deregulation of mitosis progression and cytotoxic effect triggered in *Allium cepa* L. roots by *Rubus sanctus* Schreber extract. *Life Science Journal*, v. 11, n. 11, p. 1047–1058, 2014.

SOLOMON, M.; BELENGHI, B.; DELLEDONNE, M.; MENACHEM, E.; LEVINE, A. The involvement of cysteine proteases and protease inhibitor genes in the regulation of programmed cell death in plants. *The Plant Cell*, v. 11, n. 3, p. 431–443, 1999.

SOUSA, S. M.; SILVA, P. S.; VICCINI, L. F. Cytogenotoxicity of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf aqueous extracts in vegetal test systems. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 82, n. 2, p. 305–311, 2010.

SOUZA FILHO, A. P. S.; ALVES, S. M. *Alelopatia: princípios básicos e aspectos gerais*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 260 p.

SOUZA FILHO, A. P. S.; ALVES, S. M. Efeitos potencialmente alelopáticos e autotóxicos em *Pueraria phaseoloides*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. *Anais...* Botucatu: SBZ, 1998. p. 88–89.

SOUZA FILHO, A. P. S.; RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Efeitos do potencial alelopático de três leguminosas forrageiras sobre três invasoras de pastagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 2, p. 165–170, 1997.

TAPIA-PASTRANA, F. Spontaneous stickiness in somatic metaphase cells suggests chromosomal instability in a Mexican population of *Aeschynomene* sp. *prope villosa* (Fabaceae: Papilionoideae: Dalbergieae). *Caryologia*, Firenze, v. 78, n. 3, p. 51–59, 2025. DOI: 10.36253/caryologia-3492.

TASHEVA, K. et al. Antioxidant and anticancer activities of water extracts from flowers, leaves and stems of in vitro cultivated and wild-growing *Marrubium vulgare* plants. *Pharmaceuticals*, v. 18, n. 12, art. 1806, 2025. DOI: 10.3390/ph18121806.

VASHISHTH, D. S.; YADAV, R.; BACHHETI, R. K.; ARYA, A. K.; BACHHETI, A. Exploring the applications of allelopathy in agriculture: a review. *Biologica Nyssana*, v. 16, n. 2, 2025. DOI: 10.46793/BiolNyss.16.2.19V.

VIEIRA, L. F. A.; SILVEIRA, G. L. Cyto(geno)toxic endpoints assessed via cell cycle bioassays in plant models. In: ÇELİK, T. A. (ed.). *Cytotoxicity*. London: IntechOpen, 2018. cap. 7. DOI: 10.5772/intechopen.72997.

YAMADA, M.; GOSHIMA, G. Mitotic spindle assembly in land plants: molecules and mechanisms. *Biology*, Basel, v. 6, n. 1, art. 6, 2017. DOI: 10.3390/biology6010006.

YUAN, B.; LI, S.; XIONG, T.; ZHANG, T. Cytogenetic and genotoxic effects of *Ipomoea cairica* (L.) Sweet leaf aqueous extract on root growth of *Allium cepa* var. *agrogarum* (L.). *Allelopathy Journal*, v. 46, n. 2, p. 205–214, 2019. DOI: 10.26651/allelo.j/2019-46-2-1209.