

ALELOPATIA NA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO EXTRATO DE FOLHAS FRESCAS E DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Mentha piperita* L. NA GERMINAÇÃO DE HORTALIÇAS

Caroline Rodrigues Caldas¹, Ana Luisa Moro Taveira¹, Bárbara Júlia dos Santos Jeanfelice^{1*}, Guilherme Luiz Celant Giombelli¹, Izabely Orso de Siqueira¹, Jaqueline Malagutti Corsato¹, Weverton Krein¹, Andréa Maria Teixeira Fortes¹

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Campus de Cascavel. Rua Universitária 1619, CEP: 85.819-110, Bairro Universitário, Cascavel, PR. E-mail: caroline.rodriguescaldas@gmail.com; barbara.jeanfelice@unioeste.br; analuisa.m.t@hotmail.com; izabelyorso16@gmail.com; guilhermelcgiombelli@gmail.com; krein.weverton@gmail.com; corsato.jm@gmail.com; andrea.fortes@unioeste.br

*autor correspondente: barbara.jeanfelice@unioeste.br

RESUMO: As inovações tecnológicas na agricultura causaram impactos ambientais negativos e redução na qualidade dos alimentos. Como alternativa, surgem métodos de cultivo mais saudáveis e sustentáveis, como o consórcio. Entretanto, o consórcio requer uma análise cuidadosa devido à alelopatia. O objetivo deste estudo foi testar o potencial alelopático do extrato aquoso de folhas frescas e do óleo essencial de *Mentha piperita* sobre a germinação de diferentes hortaliças. Para avaliação desse potencial, foram utilizados o extrato aquoso, obtido triturando as folhas frescas de hortelã e diluindo para as diferentes concentrações (2,5%, 5,0%, 7,5% e 10%), e o extrato a base de óleo essencial, que foi adquirido comercialmente e emulsionado com Tween 80 para formar as diferentes concentrações (0,25%, 0,5%, 1% e 2%). O delineamento foi inteiramente casualizado. Os resultados revelaram que tanto o extrato aquoso quanto o óleo essencial afetaram a germinação das sementes, com variações entre as espécies. Além disso, os resultados sugerem que a hortelã-pimenta pode não ser uma escolha ideal para o consórcio de hortaliças em sistemas orgânicos, devido à sua capacidade de afetar negativamente a germinação das sementes.

PALAVRAS-CHAVE: alelopatia, consórcio, hortaliças.

ALLELOPATHY IN SUSTAINABLE AGRICULTURE: EVALUATION OF THE EFFECTS OF FRESH LEAF EXTRACT AND ESSENTIAL OIL OF *Mentha piperita* L. ON VEGETABLE GERMINATION

ABSTRACT: Technological innovations in agriculture have caused negative environmental impacts and a reduction in food quality. As an alternative, healthier and more sustainable cultivation methods, such as intercropping, have emerged. However, intercropping requires careful analysis due to allelopathy. The objective of this study was to test the allelopathic potential of the aqueous extract of fresh leaves and the essential oil of *Mentha piperita* on the germination of different vegetables. For the evaluation of this potential, an aqueous extract was obtained by crushing fresh mint leaves and diluting them to different concentrations (2.5%, 5.0%, 7.5%, and 10%), and an extract based on essential oil, which was commercially acquired and emulsified with Tween 80 to form different concentrations (0.25%, 0.5%, 1%, and 2%). The experimental design was completely randomized. The results revealed that both the aqueous extract and the essential oil affected seed germination, with variations between species.

Additionally, the results suggest that peppermint may not be an ideal choice for intercropping in organic systems due to its ability to negatively affect seed germination.

KEY WORDS: allelopathy, consortium, vegetables

INTRODUÇÃO

Com o aumento da população, a agricultura passou por uma revolução para alimentar a população mundial. Isto levou a uma intensificação da agricultura, e o desenvolvimento de novas tecnologias que culminou na exploração intensiva do solo, monoculturas, utilização de controle químicos de pragas e uso de fertilizantes inorgânicos, de forma que essas práticas se mostraram eficazes para o objetivo proposto. No entanto, essas inovações muitas vezes se mostraram prejudiciais ao meio ambiente, diminuindo também a qualidade dos alimentos produzidos. Como resultado, alternativas para cultivar alimentos de forma saudável e sustentável estão ganhando espaço (Carvalho *et al.*, 2009).

Entre as práticas de cultivo, o consórcio se destaca, pela ocupação de uma mesma área por mais de uma cultura, simultaneamente ou em rotação, podendo gerar muitos benefícios, uma vez que maximizam os espaços e aumentam a produção de alimentos sem a necessidade de grandes investimentos, comparado às monoculturas (Teixeira *et al.*, 2005). No entanto, o consórcio entre essas espécies precisa ser cuidadosamente analisado, pois existe um fenômeno fisiológico chamado alelopatia, que pode tanto prejudicar, como beneficiar a interação entre as espécies consorciadas.

A alelopatia é um fenômeno natural que envolve a interação entre plantas e outros organismos por meio da liberação de compostos químicos no ambiente, denominados aleloquímicos. Esses compostos podem ser lançados no ambiente pelas plantas doadoras, por meio de processos como lixiviação, exsudação radicular, volatilização e decomposição de resíduos vegetais (Paula *et al.*, 2011).

Os aleloquímicos podem ter efeitos tanto benéficos quanto prejudiciais sobre as plantas receptoras, tanto em sistemas naturais quanto em sistemas agrícolas, podendo restringir o desenvolvimento de outras espécies, interferindo na germinação e/ou no crescimento de espécies (Pires & Oliveira, 2011; Bellache *et al.*, 2022).

A agricultura familiar desempenha um papel fundamental na renda da população rural, sendo a base da economia em 75% dos municípios rurais. Por serem responsáveis pela maior

parte da produção de alimentos sustentáveis no Brasil, observa-se ascensão das práticas agrícolas voltadas para o aumento da produção e, conseqüentemente, da renda dessa parcela da população. Uma dessas práticas é o cultivo de plantas medicinais, que possuem ampla aplicação na indústria e representam uma oportunidade promissora para os agricultores familiares (Lourenzani *et al.*, 2004).

As plantas medicinais são conhecidas desde os primórdios da sociedade, sendo utilizada como remédio e atualmente estudada como fitoterápicos (Maciel *et al.*, 2002). Dentre as espécies utilizadas na indústria de fitoterápicos, destaca-se as plantas medicinais do gênero *Mentha* spp. Essas espécies são conhecidas por conterem predominantemente monoterpenos em seu óleo essencial, o que pode lhes conferir um potencial alelopático significativo (Gusman *et al.*, 2012; Maia *et al.*, 2011; Nariani *et al.*, 2013).

Os óleos essenciais (OE) estão distribuídos por várias regiões nas plantas e auxiliam em sua defesa e polinização. Os compostos derivados do metabolismo secundário presentes nos óleos essenciais estão se popularizando no Brasil pela sua ampla utilização, que vai desde uso nas indústrias farmacêuticas, até a fabricação de cosméticos (Nilo, 2015).

A hortelã pimenta (*Mentha piperita* L) exibe ação alelopática sobre plantas de alface (*Lactuca sativa* L.), como já observado em experimentos, nos quais notou-se a diminuição no crescimento da hortalíça, quando associada com a hortelã (Maia *et al.*, 2008). Além disso, houve diminuição na divisão celular conforme o aumento da concentração de extrato, indicando ação de citotoxicidade, prejudicando consideravelmente o desenvolvimento inicial das plântulas (Ferreira *et al.*, 2014).

Na literatura, são raros os registros sobre o cultivo consorciado entre plantas medicinais e hortalíças, tornando importante a realização de estudos adicionais sobre novos modelos. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito alelopático do óleo essencial e do extrato aquoso obtido das folhas frescas de *M. piperita*, sobre o processo germinativo de hortalíças cenoura, tomate, rúcula e manjeriço, verificando um possível consórcio entre plantas medicinais e hortalíças dentro das práticas agrícolas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Fisiologia Vegetal (LAFEV) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, campus de Cascavel, no período de agosto de 2023 a abril de 2024.

Preparo dos extratos

As folhas frescas de *M. piperita* utilizadas para os extratos foram coletadas na propriedade rural Colônia Tormenta, Rio do Salto (25°08'35.6"S 53°18'27.5"W), na cidade de Cascavel-PR, e foram colhidas e usadas no mesmo dia, para evitar oxidação dos compostos.

O extrato aquoso fresco foi obtido triturando-se as folhas de hortelã em um liquidificador convencional, durante 1 minuto, na proporção de 200g de parte aérea para cada litro de água destilada, resultando no extrato bruto de 10% (p/v). As demais concentrações (2,5%, 5,0% e 7,5%), foram obtidas da diluição do extrato bruto. Para a testemunha foi utilizado apenas água destilada.

Para obtenção do extrato a partir do óleo essencial de *M. piperita*, um frasco de óleo essencial puro foi adquirido comercialmente da marca Madreselva®. Para preparar o extrato foi utilizado uma alíquota contendo 1 ml do óleo, o mesmo foi emulsionado com Tween 80, na proporção 1:1 (v/v) e adicionado 50 ml de água, formando a concentração de 2%. As concentrações subsequentes foram constituídas por 0,25%, 0,5% e 1% (v/v). Foram preparadas duas testemunhas, uma apenas com água destilada e outra com água destilada e Tween 80 na proporção 1:1 (v/v).

Potencial alelopático com folhas frescas

Para a avaliação do potencial alelopático do extrato de folhas frescas de *M. piperita*, foram realizados 5 tratamentos com 4 repetições cada, sendo os tratamentos à 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10% (p/v) da diluição do extrato bruto. As placas de Petri foram umedecidas com 7 ml de água para a testemunha (0%) e 7 ml do extrato nas devidas concentrações, respectivamente. Os ensaios foram conduzidos em câmara de germinação do tipo B.O.D, com temperatura de 25 °C ± 2°C e fotoperíodo de 12 horas e o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC).

Potencial alelopático com óleo essencial

Para os testes utilizando o extrato de óleo essencial de *M. piperita*, foram realizados 6 tratamentos com 4 repetições, sendo os tratamentos à 0%, 0% + Tween 80, 0,25%, 0,5%, 1% e 2% (p/v). Duas testemunhas foram utilizadas, uma apenas com água e outra com água e Tween 80 na proporção de 1:1 (p/v). As placas com as sementes foram umedecidas com 7 ml de água destilada e Tween 80 para as testemunhas e 7% de extrato nas devidas concentrações, respectivamente. Os ensaios foram conduzidos em câmara de germinação do tipo B.O.D, com

temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e fotoperíodo de 12 horas e o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC).

Para avaliar o potencial alelopático dos extratos a base de folhas frescas, bem como proveniente do óleo essencial de *M. piperita*, foram utilizadas 25 sementes por repetição das espécies de tomate (*Solanum lycopersicon* L.), cenoura (*Daucus carota* L.), rúcula (*Eruca sativa* L) e manjerição (*Ocimum basilicum* L.). A cenoura, o manjerição e a rúcula foram acondicionados separadamente sobre 3 papéis filtro por placa, enquanto as sementes de tomate foram colocadas em placas de Petri com duas folhas de papel filtro na base e uma folha sobre as sementes.

Análise estatística

A contagem das sementes germinadas foi realizada diariamente até o 7º dia após a instalação dos experimentos, sendo considerado como sementes germinadas aquelas que apresentavam no mínimo 2 milímetros de raiz (Hadas, 1976). Após o teste, foram avaliados os seguintes parâmetros conforme Edmond & Drapala (1958): Porcentagem de Germinação (PG%), Tempo Médio de Germinação (TMG) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) segundo Silva & Nakagawa (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas utilizando o teste de Tukey, considerando um nível de significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa R versão 4.31 (R Development Core Team, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se que para as sementes de tomate, o extrato aquoso das folhas frescas de *M. piperita* não alterou a Porcentagem de Germinação em relação à testemunha. No entanto, as variáveis Tempo Médio de Germinação e Índice de Germinação foram alteradas na presença do extrato. O TMG aumentou quanto maior foi a concentração do extrato aplicado e consequentemente o IVG reduziu nas concentrações de 2,5; 5,0; 7,5 e 10% (p/v). Esses resultados indicam que os metabólitos secundários presentes nas folhas frescas de *M. piperita* não apresentam a capacidade de inibição germinativa para o tomate, visto que a espécie não apresentou sensibilidade às concentrações submetidas.

Tabela 1. Porcentual de Germinação (PG%), Tempo Médio de Germinação (TMG/dias) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de hortaliças (tomate, manjeriçõ, rúcula e cenoura), submetidos ao extrato de folha fresca de hortelã-pimenta (*M. piperita*)

Potencial alelopático do extrato de folha fresca de hortelã-pimenta sobre a germinação de tomate, manjeriçõ, rúcula e cenoura

	[]	PG %	TMG (sementes/dia)	IVG
Tomate	0%	89 a	4,23 c	5,48 a
	2,50%	74 a	5,19 ab	4,05 b
	5%	78 a	4,93 bc	3,67 b
	7,50%	76 a	5,35 ab	3,60 b
	10%	73 a	5,79 a	3,18 b
	CV%	12,1	6,4	14,15
Manjeriçõ	0%	82 a	2,41 b	9,40 a
	2,50%	81 a	2,58 b	8,82 a
	5%	76 a	4,33 a	4,82 b
	7,50%	76 a	3,83 a	5,19 b
	10%	76 a	3,43 ab	5,79 b
	CV%	12,09	14,79	13,62
Rúcula	0%	91 a	1,1 c	21,27 a
	2,50%	71 ab	4,9 b	3,84 b
	5%	72 ab	5,44 ab	3,42 b
	7,50%	49 b	5,87 ab	2,10 b
	10%	52 b	6,12 a	2,16 b
	CV%	16,04	9,26	14,27
Cenoura	0%	79 a	3,22 b	6,40 a
	2,50%	73 ab	3,14 b	5,98 a
	5%	48 bc	5,28 a	2,38 b
	7,50%	27 c	5,51 a	1,37 b
	10%	55 ab	4,72 a	3,16 b
	CV%	21,28	13,34	24,72

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As sementes de manjeriço apresentaram comportamento semelhante ao descrito nesse estudo para o tomate. A Porcentagem de Germinação das sementes de manjeriço também não foi influenciada pela presença do extrato de *M. piperita*, porém o TMG e o IVG divergiram estatisticamente da testemunha nas concentrações de 5,0; 7,5 e 10%(p/v) do extrato aquoso fresco de *M. piperita*.

Já para as sementes de rúcula, o extrato de *M. piperita* teve efeito negativo na variável Porcentagem de Germinação. Observa-se que houve uma redução dessa variável quando aplicado o extrato aquoso nas concentrações de 7,5 e 10%. O aumento gradual das concentrações do extrato levou à um aumento do TMG e uma redução do IVG. Para o Tempo Médio de Germinação a concentração de 10% se mostrou 6 vezes maior que a testemunha, enquanto o Índice de Velocidade de Germinação reduziu 90% já na concentração de 2,5% (p/v).

As sementes de cenoura, apresentaram comportamento semelhante ao da rúcula quando em contato com o extrato aquoso das folhas de *M. piperita*. Também foi observado alterações para a variável porcentagem de germinação, em que a concentração de 7,5%, reduziu a taxa de germinação em 66% em relação a testemunha. Já para o Tempo Médio e Índice de velocidade de Germinação da cenoura, observa-se diferenças significativas em relação a testemunha a partir da concentração do extrato aquoso a 5,0%(p/v).

O mesmo extrato pode exercer efeito alelopático diferente dependendo da espécie acceptora dos aleloquímicos, dessa forma, o uso de espécies diferentes espécies como a cenoura e o tomate, é indicado para verificar a tolerância das espécies a diferentes metabólicos secundários, uma vez que essas espécies apresentam sementes de menor tamanho, com elevado índice de germinação, homogeneidade da amostra e alta sensibilidade aos aleloquímicos (Silva *et al.*, 2010).

Gonçalves e colaboradores (2022) destacam que, além dos aleloquímicos apresentarem diferentes mecanismos de ação nos vegetais, as espécies acceptoras também apresentam mecanismos para reduzir os efeitos prejudiciais dos aleloquímicos. Esse aspecto fica evidente no presente trabalho, uma vez que algumas espécies testadas, como a rúcula e cenoura, apresentaram maior sensibilidade que as outras, conforme apresentado na Tabela 1.

Apesar da porcentagem de germinação das sementes de tomate e manjeriço não serem influenciadas pela ação do extrato de *M. piperita*, as variáveis TMG e IVG foram influenciados negativamente, demonstrando que essas espécies também são sensíveis aos aleloquímicos

presentes no extrato. Resultados semelhantes foram observados no trabalho de Nariai et al. (2013) em que o extrato de *M. piperita* não interferiu no porcentual de germinação da alface, outra bioindicadora utilizada em estudos sobre potencial e efeito alelopático, porém houve interferência no IVG da semente.

A literatura destaca que o efeito alelopático pode não ser evidente apenas pela taxa de germinação, mas também por outros parâmetros. No presente este estudo, observou-se um aumento no Tempo de Germinação, possivelmente relacionado a compostos fenólicos encontrados nas folhas de *M. piperita*, já identificados por Santos (2011).

Estudos anteriores como de Pereira et al. (2013) e Andreani et al. (2018), destacaram que esses compostos podem interferir nas enzimas respiratórias e na via das pentoses fosfato nas sementes, resultando em uma germinação mais lenta e plântulas menores. Além disso, a *M. piperita* contém flavonoides, os quais, segundo Moreland e Novitzky (1988), podem reduzir o fluxo de oxigênio para a mitocôndria, desempenhando um papel na proteção contra o estresse oxidativo, mas também podem estimular enzimas que degradam o hormônio auxina, essencial para a germinação, tornando-se assim inibidores eficazes da germinação de sementes (Cruz-Ortiz & Mendez, 2022).

Levando em consideração que o consórcio entre hortaliças otimiza a produção e é uma prática comum na agricultura orgânica e familiar, testes como estes são importantes para o conhecimento sobre os efeitos alelopáticos exercido pelas espécies escolhidas para essa prática. A eficiência do consórcio de plantas depende diretamente das espécies envolvidas, uma vez que essas podem apresentar efeitos alelopáticos variados (Teixeira *et al.*, 2005).

Oliveira et al. (2011) observaram que é viável o consórcio da *M. piperita* com hortaliças como o alface e a cebolinha enquanto o consórcio com a chicória não é recomendado. Corroborando com este trabalho, onde diferentes graus de sensibilidade foram evidenciados entre as hortaliças submetidas ao extrato das folhas frescas.

Considerando que o extrato de folha fresca também apresenta óleo essencial com terpenos, é importante destacar que a diferenças variam em intensidade devido à diferença de concentração dos compostos ativos.

O extrato produzido a base de óleo essencial, quando aplicado sobre as sementes de tomate demonstrou total inibição do processo de germinação nas concentrações mais elevadas 1 e 2 %(v/v) (Tabela 2). Nas menores concentrações, observou-se diferença para a variável

porcentagem de germinação a partir da concentração 0,5% a qual diferiu da testemunha apenas com água destilada. O TMG das sementes de tomate não diferiu estatisticamente entre as testemunhas e as menores concentrações do extrato (0,25% e 0,5%), enquanto para o IVG verificou-se que houve uma queda gradual dessa variável nas concentrações de 0,25 e 0,5%. Devido à ausência de germinação nas concentrações mais elevadas (1 e 2%), não foi possível realizar a avaliação do TMG e do IVG nessas concentrações.

As sementes de manjeriço demonstraram comportamento similar ao tomate quando em contato com o extrato a base de óleo essencial. Observamos que as maiores concentrações inibiram a germinação. Ao aplicar as concentrações de 1 e 2% verificamos diferença significativa em relação a testemunha, sendo que no tratamento de 2% do extrato a base de óleo essencial de *M. piperita* não ocorreu germinação. Houve um aumento do TMG nos tratamentos de 0,5 e 1%, e o IVG foi reduzido na concentração de 1% do extrato, já nas concentrações mais baixas (0,25 e 0,5%) não houve diferença significativa em relação a testemunha.

Nas sementes de rúcula, observou-se efeito na PG (%) apenas na concentração de 2%, onde houve uma diminuição de 87% em relação a testemunha. O TMG e o IVG tiveram uma redução com o aumento da concentração (dose dependente). Dessa forma, é evidente que o óleo essencial de *M. piperita* atua retardando o processo de germinação das sementes de rúcula.

Assim como na semente de manjeriço e tomate, a semente de cenoura apresentou inibição da PG e TMG quando em contato com as maiores concentrações do extrato a base de óleo essencial (1 e 2%). Observou-se que na concentração 1% não houve germinação da semente da cenoura e houve diminuição significativa na concentração de 2%, em que apenas 1 semente germinou, além de uma possível redução total da germinação nas concentrações mais elevadas. No TMG apenas as maiores concentrações (1 e 2%) apresentaram diferença significativa em relação as testemunhas. No IVG foi observado diferenças significativas em relação as testemunhas a partir da concentração de 0,5%.

Sabendo que a semente possui reserva nutritiva própria, as reservas podem ter sido afetadas pelos aleloquímicos presentes no extrato a base de óleo nas concentrações mais altas. Os OE induzem nas plantas a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs). Os EROs atuam como moléculas sinalizadoras, levando a mudanças no equilíbrio hormonal durante a germinação das sementes e interferindo na emissão do eixo radícula-epicótilo (Mahdavia & Saharkhiz, 2015; Carvalhal *et al.*, 2019).

Tabela 2. Porcentual de Germinação (PG%), Tempo Médio de Germinação (TMG/dias) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de diferentes hortaliças (tomate, manjerição, rúcula e cenoura) submetidos ao extrato d óleo essencial de hortelã-pimenta (*M. piperita*)

Potencial alelopático do extrato de folha fresca de hortelã-pimenta sobre a germin�o de tomate, manjerição, rúcula e cenoura				
	[]	PG%	TMG (sementes/dia)	IVG
Tomate	0+�gua	78 a	5,35 a	5,48 a
	0+ Tween	68 ab	4,28 a	3,67 ab
	0,25%	60 ab	4,82 a	3,39 bc
	0,50%	50 b	4,32 a	2,29 c
	1%	0	0	0
	2%	0	0	0
	CV%	21,19	42,73	26,13
Manjeriç�o	0+�gua	79 a	2,31 b	9,2 a
	0+ Tween	80 a	2,62 b	8,64 a
	0,25%	83 a	2,46 b	9,33 a
	0,50%	68 a	3,18 ab	8,25 a
	1%	32 b	4,66 a	1,91 b
	2%	0 c	0	0
	CV%	19,11	26,3	38,99
Rúcula	0+�gua	74 a	1,61 b	13,45 a
	0+ Tween	84 a	1,91 ab	13,41 ab
	0,25%	82 a	1,96 ab	12,14 bc
	0,50%	91 a	2,34 ab	11,62 c
	1%	66 a	3,12 ab	6,39 d
	2%	9 b	4,66 a	0,44 d
	CV%	17,87	50,22	18,32
Cenoura	0+�gua	79 a	3,22 a	6,61 a
	0+ Tween	62 a	3,31 a	5,13 ab
	0,25%	69 a	3,93 a	4,71 ab
	0,50%	45 a	3,42 a	2,74 b
	1%	0 b	0	0
	2%	1 b	1,25 ab	0,05 c
	CV%	36,84	56,7	36,76

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Outro fator que interfere na germinação da semente é que em altas concentrações do extrato de óleo essencial de *M. piperita*, há maior quantidade de terpenos voláteis. Segundo Mucciarelli et al. (2001), esses terpenos podem romper as membranas celulares levando a alterações estruturais e reduzindo a atividade bioquímica da mitocôndria, consequentemente comprometendo a respiração e o processo de germinação.

Segundo Santos et al. (2023), em alguns casos, a germinação da semente pode ser fortemente influenciada pela concentração do composto, como observado neste trabalho em que o extrato a base de óleo mostrou maior efeito nas concentrações mais altas (1 e 2%).

No ensaio de Mahdavia & Saharkhiz, (2015), em que foi estudado a atividade fitotóxica do óleo essencial de *M. piperita* sobre as sementes de tomate e rabanete, o resultado foi semelhante à do presente trabalho, e se obteve inibição significativa nas concentrações de 1.500 e 1.800 $\mu\text{L L}^{-1}$. Em outros estudos como de Bellache et al. (2022), que analisaram o efeito alelopático de 3 óleos essenciais, sendo um deles de espécie do gênero *Mentha*, sobre a germinação de duas espécies de plantas invasoras, constatou-se um efeito de inibição maior do óleo de *M. piperita*, em relação aos demais sobre a germinação, resultado que enfatiza o grande potencial alelopático do óleo.

Os resultados obtidos salientam a importância do estudo da alelopatia para escolha de plantas para consórcio de hortaliças em sistemas orgânicos, uma vez que são as interações observadas entre espécies selecionadas que permitem a sua utilização na prática agrícola. Isto deve ter ocorrido porque segundo Pereira et al. (2015), o objetivo do consórcio é expansão da produtividade com a potencialização dos recursos ambientais, sendo assim essencial que as espécies escolhidas não possuam ação negativa e não seja capaz de influenciar no desenvolvimento das plantas consorciadas.

Observou-se que tanto o extrato aquoso das folhas frescas quanto o extrato a base de óleo essencial de *M. piperita* influenciaram o processo de germinação das sementes das hortaliças estudadas. No entanto, foram observadas diferenças principalmente na intensidade dos efeitos, conforme variação da concentração dos extratos. Enquanto o extrato aquoso afetou principalmente o Tempo Médio de Germinação (TMG) e o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) das sementes, o extrato de óleo essencial obteve um efeito mais pronunciado, inibindo completamente a germinação em concentrações mais elevadas. Esses

resultados ressaltam a importância de considerar não apenas a presença dos compostos ativos, mas também sua concentração, ao avaliar o potencial alelopático de extratos de plantas.

Também foi possível observar a sensibilidade das espécies aos efeitos alelopáticos, uma vez que foi houve diferentes respostas aos aleloquímicos. No entanto, todas as espécies mostraram algum efeito negativo na germinação, sugerindo que, para o consórcio de hortaliças em sistemas orgânicos, a hortelã pode não ser uma escolha ideal.

CONCLUSÕES

Os resultados revelaram que tanto o extrato aquoso de folha fresca quanto o óleo essencial de *M. piperita* afetaram o processo germinação das sementes, com variações entre as espécies testadas. Enquanto algumas não foram influenciadas na porcentagem de germinação, houve alterações no tempo médio de germinação e no índice de velocidade de germinação, demonstrando assim efeito alelopático negativo sobre as hortaliças testadas e assim não sendo uma boa uma opção para o consórcio.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal – LAFEV da UNIOESTE, campus Cascavel pelo valioso incentivo e apoio fornecido durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BELLACHE, M.; TORRES-PAGAN, N.; VERDEGUER, M.; BENFEKIH, L.I.; VICENTE, O.; SESTRAS, R.E.; SESTRAS, A.F.; BOSCAIU, M., Essential oils of three aromatic plant species as natural herbicides for environmentally friendly agriculture. **Sustainability**, Basiléia, v.14, n.6, p.35-96, 2022.

CARVALHO, L.M.; NUNES, M.C.; OLIVEIRA, I.R., LEAL, M.S. Produtividade do tomateiro em cultivo solteiro e consorciado com espécies aromáticas e medicinais. **Horticultura brasileira**, Brasília, v.27, n.4, p.458-464, 2009.

CARVALHAL, V.H.B.; MALUF, V.H.H.K.; MOISÉS, P.S.; GUSMÃO, M.H.A.; TOLEDO, A.M.O.; GOMES, F.T. Avaliação do potencial alelopático do limão siciliano e citronela sobre sementes de *Lactuca sativa* (L.). **Analecta**, Juiz de Fora, v.5, n.5, 2019.

CRUZ-ORTIZ, L.; MÉNDEZ, M.F. Progress in the development of new biological herbicides from phytotoxic plant extracts applied in vitro. **Informador Técnico**, Cali, v.86, n.1, p.34-45, 2022.

EDMOND, J.B.; DRAPALA, W.J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society Horticultural Science**, Maryland, v.71, p.428-434, 1958.

FERREIRA, D.T.; MONTEIRO, E.C.; DUARTE, J.S.; ROSSI, A.R. Efeito citotóxico do extrato aquoso de *Mentha piperita* sobre o índice mitótico de *Licopersicum esculentum* M. In: SEMINÁRIO DE AGROECOLOGIA DO DF E ENTORNO, 4, 2014, Brasília. **Anais**. Brasília: EMBRAPA, 3p.

GONÇALVES, D.B.; SORIANI, H.H.; ROSA, G.M.; FLACH, K.A.; BONES, U.A. Potencial alelopático de extratos aquosos e hidroalcoólicos de *Eucalyptus grandis*, *Plantago major*, *Mentha spicata* e *Canavalia ensiformis*. **Ensaio e Ciências**, Londrina, v.27, n.3, p.267-276, 2023.

GUSMAN, G.S.; VIEIRA, L.R.; VESTENA, S. Alelopatia de espécies vegetais com importância farmacêutica para espécies cultivadas. **Biotemas**, Florianópolis, v.25, n.4, p.37-48, 2012.

HADAS, A. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solution. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.27, n.98, p.480-489, 1976.

JUNIOR, R.A.; OTERO, M.Q.; SILVA, M.M. Efeito de extratos vegetais aquosos sobre a germinação de plantas daninhas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.15, n.27, p.188, 2018.

LOURENZANI, A.E.B.S.; LOURENZANI, W.L.; BATALHA, M.O. Barreiras e oportunidades na comercialização de plantas medicinais provenientes da agricultura familiar. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.34, n.3, p.15-25, 2004.

MACIEL, M.A.M.; PINTO, A.C.; VEIGA JR., V.F.; GRYNBERG, N.F.; ECHEVARRIA, A. Plantas medicinais: a necessidade de estudos multidisciplinares. **Química Nova**, São Paulo, v.25, p.429-438, 2002.

MAIA, J.T.; MARTINS, E.R.; COSTA, C.A.; GUILHERME, D.O.; PAULINO, M.A.; BARBOSA, F.S.; FERNANDES, R.C.; VALADARES, S.V. Produção de alface e cenoura em cultivo solteiro e consorciado com manjerição e hortelã. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Brasília, v.3, n.1, p.58-64, 2008.

MAHDAVIKIA, F.; SAHARKHIZ, M.J. Phytotoxic activity of essential oil and water extract of peppermint (*Mentha piperita* L. CV. Mitcham). **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, Amsterdã, v.2, n.4, p.146-153, 2015.

MAIA, J.S.; BONFIM, F.G.; BARBOSA, C.R.; GUILHERME, D.O.; HONÓRIO, I.G.; MARTINS, E.R. Influência alelopática de hortelã (*Mentha x villosa* Huds.) sobre emergência de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Maringá, v.13, n.3, p.253-257, 2011.

- MOURÃO-JUNIOR, M., SOUZA FILHO, A.P.S. Diferenças no padrão da atividade alelopática em espécies da família Leguminosae. **Planta Daninha**, Viçosa, v.28, p.939-951, 2010.
- MORELAND, D.E.; NOVITZKY, W.P. Interference by flavone and flavonols with chloroplast-mediated electron transport and phosphorylation. **Phytochemistry**, Amsterdã, v.27, n.11, 1988.
- MUCCIARELLI, M.; CAMUSSO, W.; BERTEA, C.M.; BOSSI, S.; MAFFEI, M. Effect of (+)-pulegone and other oil components of *Mentha piperita* on cucumber respiration. **Phytochemistry**, Amsterdã, v.57, n.1, p.91-98, 2001.
- NARIAI, M.A.; BIDO, G.S.; ZONETTI, P.C. Ação alelopática do extrato aquoso de babosa (*Aloe vera* L.) e hortelã (*Mentha* sp.) sobre a alface (*Lactuca sativa* L.). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v.6, n.2, p.253-257, 2013.
- NILO, M.C.S.S. **Composição química e atividade antioxidante da hortelã-pimenta (*Mentha piperita*)**. 2015. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- OLIVEIRA, A.R.M.F.; JEZLER, C.N.; OLIVEIRA, R.A.; BOMFIM COSTA, L.C. Potencial alelopático, produção de biomassa e óleo essencial de alevante (*Mentha piperita* var. *citrata* (Ehrh.) Briq.) em cultivo solteiro e consorciado com cebolinha (*Allium schoenoprasum* L.) e chicória (*Chicorium endivia* L.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.9, n.4, p.497-497, 2011.
- PAULA, V.S.; MARTINS, L.P.; GONÇALVES, R.C.; OLIVEIRA, V.A.; BENÍCIO, L.P.F. Efeito alelopático do extrato de *Euphorbia heterophylla* sobre a emergência e o desenvolvimento da alface. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.5, n.4, p.31-37, 2011.
- PEREIRA, V.C.; GRISI, P.U.; DODONOV, P.; ANESE, S.; TOFFANO, L.; GUALTIERI, S.J. Atividade fitotóxica de *Serjania lethalis* sobre a germinação e crescimento de *Panicum maximum*. **Biotemas**, Florianópolis, v.27, n.1, p.29-35, 2013.
- PEREIRA, T.S.; VIDAL, M.C.; RESENDE, F.V. Efeito de solo previamente cultivado com plantas aromáticas na germinação e no desenvolvimento inicial de alface. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Maringá, v.17, p.543-549, 2015.
- PIRES, N.M.; OLIVEIRA, V.R. Alelopatia. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Editora Omnipax, 2011, p.95-123.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna (Austria), 2013.
- SANTOS, I.S.N. **Avaliação do potencial antioxidante dos compostos fenólicos de extratos de plantas da flora portuguesa**. 2011. 75p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2011.

SANTOS, J.E.K.; FREITAG, R.A.; BOBROWSKI, V.L. Avaliação do potencial antiproliferativo e alelopático do óleo essencial de alecrim sobre bioindicador vegetal. **International Multilingual Journal of Science and Technology**, Berlin, v.8, n.4, 2023.

SILVA, J.B.; NAKAGAWA, J. Estudos de fórmulas para cálculo de velocidade de germinação. **Informativo abrates**, Brasília, v.5, n.1, p.62-73, 1995.

SILVA, H.L.; TREZZI, M.M.; MARCHESE, J.A.; BUZZELLO, G.; MIOTTO Jr, E.; PATEL, F. DEBASTIANI, F.; FIORESE, J. Determinação de espécie indicadora e comparação de genótipos de girassol quanto ao potencial alelopático. **Planta daninha**, Viçosa, v.27, n.4, p.655-663, 2010.

TEIXEIRA, I.R.; MOTA, J.H.; SILVA, A.G da. Consórcio de Hortaliças. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v.26, n.4, p.507-514, 2005.