

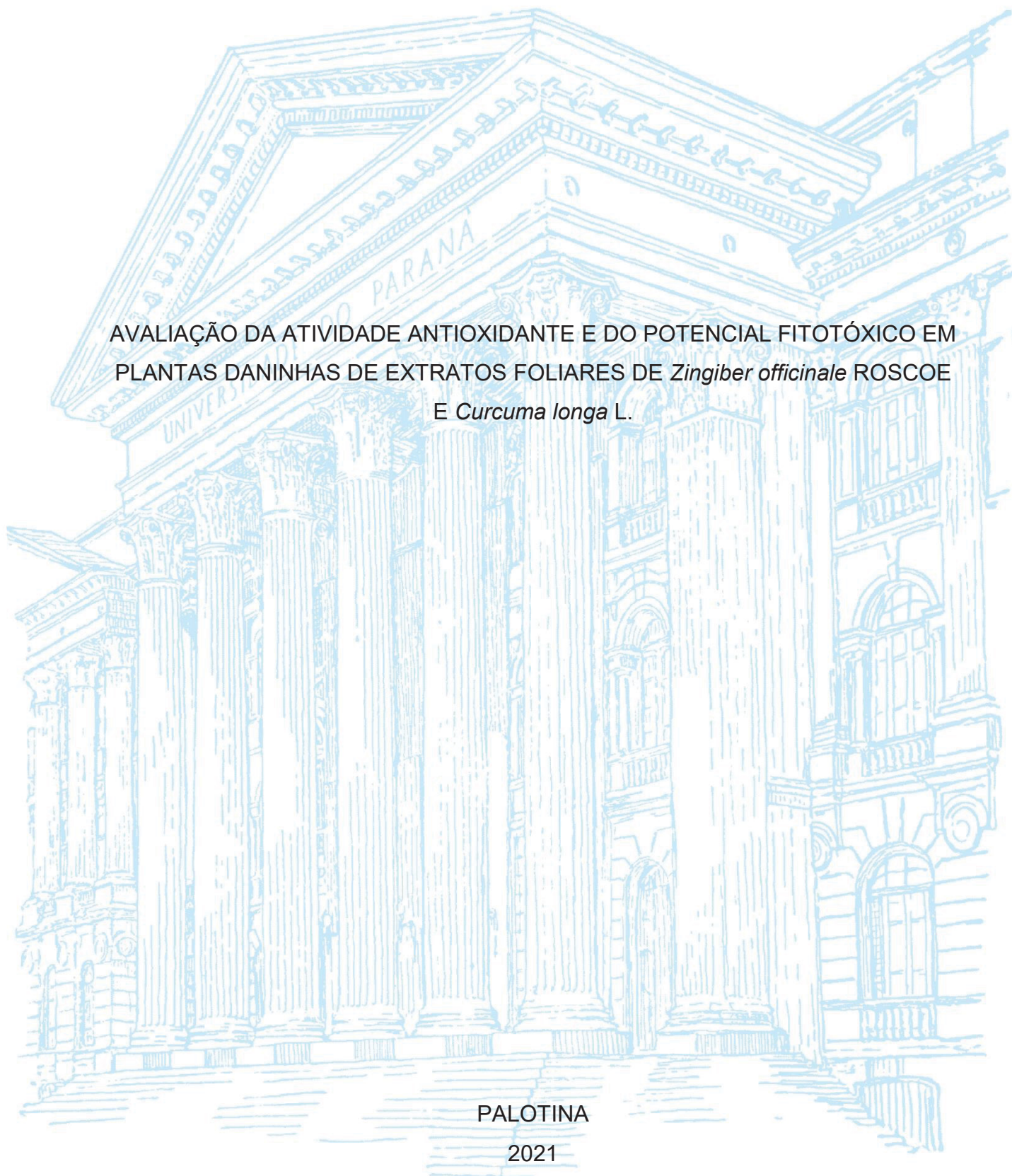
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIA BAVARESCO

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E DO POTENCIAL FITOTÓXICO EM
PLANTAS DANINHAS DE EXTRATOS FOLIARES DE *Zingiber officinale* ROSCOE
E *Curcuma longa* L.

PALOTINA

2021



JULIA BAVARESCO

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E DO POTENCIAL FITOTÓXICO EM
PLANTAS DANINHAS DE EXTRATOS FOLIARES DE *Zingiber officinale* ROSCOE
E *Curcuma longa* L.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Biotecnologia, Área de Concentração Biotecnologia Agrícola, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra Patrícia da Costa Zonetti
Coorientadora: Profa. Dra Letycia Lopes Ricardo

PALOTINA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B353 Bavaresco, Julia
Avaliação da atividade antioxidante e do potencial fitotóxico em plantas daninhas de extratos foliares de *Zingiber officinale* Roscoe e *Curcuma longa* L. / Julia Bavaresco – Palotina, 2021. 83f.

Orientadora: Patrícia da Costa Zonetti
Coorientadora: Letycia Lopes Ricardo
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia.

1. Biorresíduo. 2. Alelopatia. 3. Bioherbicidas. I. Zonetti, Patrícia da Costa. II. Ricardo, Letycia Lopes. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDU 632.5

Ficha catalográfica elaborada por Liliane Cristina Soares Sousa – CRB 9/1736



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR PALOTINA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO BIOTECNOLOGIA -
40001016083P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação BIOTECNOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **JULIA BAVARESCO** intitulada: **AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E DO POTENCIAL FITOTÓXICO EM PLANTAS DANINHAS DE EXTRATOS FOLIARES DE *Zingiber officinale* ROSCOE E *Curcuma longa* L.**, sob orientação da Profa. Dra. PATRICIA DA COSTA ZONETTI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

PALOTINA, 22 de Dezembro de 2021.

Assinatura Eletrônica

22/12/2021 15:47:23.0

PATRICIA DA COSTA ZONETTI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

22/12/2021 15:50:23.0

GRACIENE DE SOUZA BIDO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE CESUMAR)

Assinatura Eletrônica

23/12/2021 22:28:45.0

SUZANA STEFANELLO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

RUA PIONEIRO, 2153 - PALOTINA - Paraná - Brasil

CEP 85950-000 - Tel: (44) 3211-8500 - E-mail: mestradiotecufpr@gmail.com

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 139291

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 139291

Dedico esta dissertação, com muito amor e gratidão aos meus pais, Pedro e Antoninha, que além do dom da vida, sempre me deram suporte para buscar mais conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

Meu eterno agradecimento a Deus, pelo dom da vida, da sabedoria e do discernimento.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia pela oportunidade em realizar minha pesquisa.

À minha orientadora Patrícia da Costa Zonetti, a qual tenho grande admiração, meus sinceros agradecimentos pela confiança em mim depositada, por toda paciência, compreensão e orientação, sempre me mantendo calma.

À minha coorientadora Letycia Lopes Ricardo, por toda atenção e ensinamentos, e por sempre me conectar com outras instituições e profissionais da área.

Aos técnicos de laboratório Ademir, Joelmir, Raquel, Carine, Maiara e Guilherme, por toda ajuda e pronta disponibilidade de sempre.

Ao Otávio Akira Sakai, Kayque Antonio Santos Medeiros, Agatha Natasha Melo da Silva, Keila de Souza Silva, Francyne Tanaka Julião, Cassia R. Rambo e Anderson Valdiney Gomes Ramos, por todo auxílio na realização de análises e compreensão das mesmas.

À Ingrid M. D. Costa e ao Julião Martinez por todo conhecimento e vivência compartilhada desde o início do Mestrado.

Às minhas amigas Andressa e Jordana, por sempre me lembrarem do meu potencial e me incentivarem a continuar.

Ao meu namorado Leonardo, por ser meu sustento emocional nas dificuldades, por me incentivar e sempre comemorar comigo desde as pequenas conquistas.

Aos meus irmãos Aline e Lincon, que da pré-escola à pós-graduação, me ensinaram a ter disciplina nos estudos e me instigaram a fugir do comodismo.

Em especial aos meus pais, Pedro e Antoninha que representam para mim o maior exemplo de persistência, agradeço todo sacrifício e amor incondicional.

Minha gratidão a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

*“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso,
mas o que ele se torna com isso.”*

- John Ruskin

RESUMO

Pertencentes a família Zingiberaceae, cúrcuma (*Curcuma longa* L.) e gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) são plantas amplamente conhecidas pelo uso do rizoma na culinária na forma de temperos, condimentos e conservantes, e com atividade medicinal anti-inflamatória, antioxidante e antitumoral. As folhas de ambas as espécies são consideradas resíduos dessas culturas, um subproduto que comumente é descartado com poucos estudos sobre sua bioatividade. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial fitotóxico e antioxidante de extratos foliares de cúrcuma e gengibre. Para isto, essas folhas consideradas resíduos pós-colheita, foram coletadas, lavadas e secas em estufa a 40°C. Após a secagem, foi realizada extração a frio por maceração exaustiva em metanol das folhas. O extrato bruto metanólico foi particionado em ordem crescente de polaridade e obteve-se as frações hexânica, diclorometano, acetato de etila e hidrometanólica. Estas frações e extrato bruto foram testados na concentração de 500 ppm para avaliar a fitotoxidez sobre sementes das plantas daninhas *Bidens pilosa* L. e *Euphorbia heterophylla* L., mensurada através do Índice de Velocidade de Germinação (IVG), Porcentagem de Germinação (%G), Comprimento da Raiz primária (CR), Comprimento de Hipocótilo (CH), Biomassa fresca (BF) e Biomassa seca (BS). Os ensaios foram conduzidos em caixas gerbox com papel germitest umedecidos com 5 mL de cada tratamento e após evaporação, umedecido com água destilada, dispostas 50 sementes por gerbox mantido por 96 horas em estufa de germinação B.O.D com fotoperíodo regulado a 8h claro a 30°C/16h de escuro a 20°C para *B. pilosa* e 12 horas claro/escuro a 25°C para *E. heterophylla*. Foi avaliada a atividade antioxidante dos extratos e frações pelos métodos DPPH e ABTS e os resultados foram expressos em μM de Trolox por g/extrato. Para identificar os grupos de compostos presentes nos extratos e frações, foi realizada a Cromatografia em Camada Delgada (CCD). Tanto em cúrcuma como em gengibre, a fração diclorometano apresentou maior atividade fitotóxica, seguida de acetato de etila e hexânica. Em todos os parâmetros, as maiores inibições ocorreram sobre *B. pilosa*, quando submetido a fração diclorometano de cúrcuma, com redução de 82,7% no IVG; 73,2% na %G; 52,2% no CR e 56,7% no CH. Pelo método DPPH, tanto em cúrcuma quanto em gengibre, a fração que apresentou maior atividade antioxidante foi acetato de etila (752,18 e 393,32 μM Trolox/g, respectivamente). Para ABTS, a maior atividade antioxidante foi em diclorometano (935,54 e 704,31 μM Trolox/g, respectivamente), seguido de acetato de etila (393,23 e 607,77 μM Trolox/g, respectivamente), indicando cúrcuma com maior potencial antioxidante em relação ao gengibre. Foi detectada a presença de terpenos, cumarinas e compostos insaturados em todos os extratos e frações analisadas. Alguns apresentaram taninos e compostos fenólicos, diretamente relacionado com a atividade antioxidante. Este trabalho demonstrou atividade fitotóxica em sementes e antioxidante evidenciando o potencial destes subprodutos agroindustriais como fonte de moléculas ativas.

Palavras-chave: Biorresíduos. Alelopatia. Bioherbicidas.

ABSTRACT

Belonging to the Zingiberaceae family, turmeric (*Curcuma longa* L.) and ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) are plants widely known for the use of the rhizome in cooking in the form of spices, condiments, and preservatives, and with anti-inflammatory, antioxidant, and antitumor medicinal activity. The leaves of both species are considered residues of these crops, a byproduct that is commonly discarded with few studies on its bioactivity. Therefore, the objective of this work was to evaluate the phytotoxic and antioxidant potential of turmeric and ginger leaf extracts. For this, these leaves, considered post-harvest waste, were collected, washed and dried in an oven at 40°C. Cold extraction by exhaustive maceration in methanol was performed for each species. The methanolic crude extract was partitioned in increasing order of polarity and the hexanic, dichloromethane, ethyl acetate and hydromethanolic fractions were obtained. These fractions and the crude extract were tested at a concentration of 500 ppm to evaluate phytotoxicity on seeds of the weeds *Bidens pilosa* L. and *Euphorbia heterophylla* L., measured through the Germination Speed Index (GSI), Germination Percentage (%G), Primary Root Length (RL), Hypocotyl Length (HL), Fresh Biomass (FB) and Dry Biomass (DB). The trials were conducted in gerboxes with germ paper moistened with 5 mL of each treatment and after evaporation, moistened with distilled water, 50 seeds were placed per gerbox and kept for 96 hours in a B.O.D. germination incubator with a regulated photoperiod of 8h light to 30 °C/16h dark to 20 °C for *B. pilosa* and 12 hours light/dark to 25 °C for *E. heterophylla*. The antioxidant activity of the extracts and fractions was evaluated by DPPH and ABTS methods and the results were expressed as μM of Trolox per g/extract. To identify the groups of compounds present in the extracts and fractions, Thin-Layer Chromatography (TLC) was performed. In both turmeric and ginger, the dichloromethane fraction showed the highest phytotoxic activity, followed by ethyl acetate and hexanic. In all parameters, the highest inhibitions occurred on *B. pilosa*, when subjected to the dichloromethane fraction of turmeric, with 82.7% reduction in GSI; 73.2% in %G; 52.2% in RL and 56.7% in HL. By DPPH method, in both turmeric and ginger, the fraction that showed the highest antioxidant activity was ethyl acetate (752.18 and 393.32 μM Trolox/g, respectively). For ABTS, the highest antioxidant activity was in dichloromethane (935.54 and 704.31 μM Trolox/g, respectively), followed by ethyl acetate (393.23 and 607.77 μM Trolox/g, respectively), indicating turmeric with higher antioxidant potential compared to ginger. The presence of terpenes, coumarins and unsaturated compounds was detected in all the extracts and fractions analyzed. Some presented tannins and phenolic compounds, directly related to the antioxidant activity. This work demonstrated phytotoxic activity in seeds and antioxidant activity, evidencing the potential of these agroindustrial by-products as a source of active molecules.

Keywords: Bio-waste. Allelopathy. Bioherbicides.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRINCIPAIS FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR O ACÚMULO DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS NAS PLANTAS	21
FIGURA 2 - SÍTIOS DE AÇÃO DA CURCUMINA PARA AS ESPÉCIES REATIVAS DE OXIGÊNIO.....	25
FIGURA 3 - MORFOLOGIA DE <i>Curcuma longa</i> L.	27
FIGURA 4 - MORFOLOGIA DE <i>Zingiber officinale</i> Roscoe	30
FIGURA 5 - ANATOMIA DAS FOLHAS DE <i>Zingiber officinale</i> Roscoe	31
FIGURA 6 - MORFOLOGIA DE <i>Euphorbia heterophylla</i> L.....	39
FIGURA 7 - MORFOLOGIA DE <i>Bidens pilosa</i> L.	40
FIGURA 8 - ESQUEMA DE FRACIONAMENTO DO EXTRATO BRUTO METANÓLICO POR PARTIÇÃO EM SOLVENTES	42
FIGURA 9 - ESTABILIZAÇÃO DO RADICAL ABTS ^{°+} POR UM ANTIOXIDANTE E SUA FORMAÇÃO PELO PERSULFATO DE POTÁSSIO.....	46
FIGURA 10 - REAÇÃO DO DPPH EM CONTATO COM O ANTIOXIDANTE	47
FIGURA 11 - REGISTROS DE ANORMALIDADES NAS PLÂNTULAS DE AMENDOIM-BRAVO E PICÃO-PRETO.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE SEMENTES DE AMENDOIM-BRAVO E PICÃO-PRETO SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS COM CÚRCUMA.....	51
GRÁFICO 2 – ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE SEMENTES DE AMENDOIM-BRAVO E PICÃO-PRETO SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS COM GENGIBRE	51
GRÁFICO 3 – PORCENTAGEM DE GERMINAÇÃO (%G) DAS SEMENTES DE AMENDOIM-BRAVO E PICÃO-PRETO.....	52
GRÁFICO 4 - CRESCIMENTO INICIAL DAS PLÂNTULAS DE PICÃO-PRETO E AMENDOIM-BRAVO SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS COM CÚRCUMA.....	53
GRÁFICO 5 - CRESCIMENTO INICIAL DAS PLÂNTULAS DE PICÃO-PRETO E AMENDOIM-BRAVO SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS COM GENGIBRE	54
GRÁFICO 6 - TAXA DE CRESCIMENTO DAS PLÂNTULAS DE PICÃO-PRETO E AMENDOIM-BRAVO	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PREPARO DAS SOLUÇÕES PARA CURVA PADRÃO	46
TABELA 2 - REVELADORES UTILIZADOS NA CROMATOGRAFIA POR CAMADA DELGADA	49
TABELA 3 - MÉDIAS OBTIDAS PARA A DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELOS MÉTODOS DE DPPH E ABTS PARA OS EXTRATOS E FRAÇÕES DE CÚRCUMA E GENGIBRE.....	60
TABELA 4 - GRUPOS DE COMPOSTOS PRESENTES NOS EXTRATOS E FRAÇÕES DE CÚRCUMA IDENTIFICADOS POR CCD.....	63
TABELA 5 - GRUPOS DE COMPOSTOS PRESENTES NOS EXTRATOS E FRAÇÕES DE GENGIBRE IDENTIFICADOS POR CCD	63

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABTS	- 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
ANOVA	- Análise de Variância
CCD	- Cromatografia em Camada Delgada
CV	- Coeficiente de Variação
DPPH	- 2,2-difenil-1-picrilhidrazila
ET	- Equivalente a Trolox
IVG	- Índice de Velocidade de Germinação
ppm	- Partes Por Milhão
RAS	- Regras de Análise de Sementes
UV	- Luz Ultravioleta
%G	- Porcentagem de Germinação
μM	- Micromolar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 ECONOMIA CIRCULAR E BIORRESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS	18
3.2 ALELOPATIA: DEFINIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO DOS ALELOQUÍMICOS E APLICAÇÕES	20
3.3 COMPOSTOS ANTIOXIDANTES	24
3.4 PLANTAS MEDICINAIS	25
3.4.1 Cúrcuma: morfologia, composição química e bioatividade.....	26
3.4.1.1 Contextualização do cultivo e comercialização da cúrcuma.....	29
3.4.2 Gengibre: morfologia, composição química e bioatividade	29
3.4.2.1 Contextualização do cultivo e comercialização do gengibre	33
3.5 PLANTAS DANINHAS: CARACTERÍSTICAS E ESTRATÉGIAS DE CONTROLE	34
3.5.1 Amendoim-bravo	38
3.5.2 Picão- preto	39
4 MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL VEGETAL	41
4.2 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS BRUTOS	41
4.3 OBTENÇÃO DAS FRAÇÕES ORGÂNICAS	42
4.4 AVALIAÇÃO DA FITOTOXIDEZ	43
4.5 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	45
4.6 IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA DE CLASSES DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE FITOTÓXICA.....	50
5.2 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	59
5.3 CARACTERIZAÇÃO POR CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA	62
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
7 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	68

APÊNDICE 1 – SCREENING DOS EXTRATOS E FRAÇÕES DAS FOLHAS DE <i>Curcuma longa</i> L.....	82
APÊNDICE 2 – SCREENING DOS EXTRATOS E FRAÇÕES DAS FOLHAS DE <i>Zingiber officinale</i> Roscoe.....	83

1 INTRODUÇÃO

O repertório de espécies vegetais conhecidas popularmente, sem estudos que comprovem cientificamente suas atividades biológicas é considerável (ALMEIDA, 2011). Em casos de metabólitos secundários de vegetais que além da utilidade medicinal, possuem atividades herbicida, fungicida ou inseticida, por exemplo, podem ter importância agrônômica.

Investigações na área da biotecnologia agrícola vem crescendo a nível global devido ao apelo pelas tecnologias verdes. Um dos ramos investigados se baseia na síntese de herbicidas a partir de produtos naturais, descobrindo atividades de compostos produzidos pelos próprios vegetais, que costumam ser de fácil degradação e menor impacto ambiental (AKBAR; IBBAL; KHALIL, 2017).

O Brasil, como importante produtor e exportador agrícola, mesmo com diversas opções de herbicidas no mercado, ainda detém expressivos problemas com custos de manejo das culturas infestadas por plantas daninhas, devido ao prejuízo na produção que estas causam. Os problemas na produtividade variam desde danos na colheita até a diminuição da quantidade e qualidade do produto. O grau de interferência sobre a cultura varia de acordo com o tempo em que as comunidades permanecem juntas competindo pelos mesmos recursos, as condições edafoclimáticas e os manejos utilizados (CARVALHO, 2013).

A resistência de plantas daninhas é um fator que tem impulsionado um aumento na quantidade e aprofundamento maior de pesquisas em alelopatia e fitotoxidez, como uma alternativa ao controle e manejo destas plantas, uma vez que tem a possibilidade de fornecer novas estruturas químicas para produção de bioativos que combatam plantas daninhas e sejam menos danosos ao ambiente (LATIF; CHIAPUSION; WESTON, 2017).

A economia circular tem como uma de suas premissas, estender o ciclo de vida dos produtos, agregando valor a estes. Resíduos agroindustriais tem sido o foco de muitas pesquisas no contexto brasileiro visando minimizar impactos ambientais e recuperar compostos de interesse econômico. (WEETMAN, 2019).

A cúrcuma e o gengibre são plantas conhecidas e utilizadas mundialmente em práticas medicinais milenares, possuem diversas bioatividades comprovadas, desde propriedades antibacterianas, anti-inflamatórias, antioxidantes e antitumorais, por exemplo (DISSANAYAKE *et al.*, 2020; TAMFU *et al.*, 2020; ZAREI *et al.*, 2020). Até o

presente contexto, estudos fitoquímicos e de bioatividade sobre essas plantas estão majoritariamente restritos aos rizomas. Essa parte da planta é a mais requisitada comercialmente tanto no mercado interno quanto externo, seja para o consumo *in natura* na forma de especiaria, tempero e condimento, ou para a extração de óleo essencial (PEREIRA, 2019).

As folhas dessas culturas são resíduos das operações pós-colheita, ou seja, não são aproveitadas no processamento do rizoma. Estima-se que estes subprodutos possam ter alguma finalidade como valiosas fontes nutricionais ou desempenhando alguma bioatividade.

Nesta perspectiva, se justifica a realização de análises sobre a composição e a bioatividade de outros órgãos das plantas cúrcuma e gengibre, que ainda não foram expressivamente estudados, como as folhas por exemplo, possibilitando uma destinação útil dentro dos princípios da economia circular.

Estudos deste caráter são consideradas promissoras especialmente por incitar o desenvolvimento de tecnologias que possam incluir biorresíduos agroindustriais de culturas que não são as mais difundidas no país, aumentando seu valor agregado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial fitotóxico e antioxidante de extratos foliares de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) e gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a fitotoxidez dos extratos e frações obtidos dos resíduos foliares de cúrcuma e de gengibre sobre a germinação e crescimento de plântulas de amendoim-bravo (*E. heterophylla* L.) e picão-preto (*Bidens pilosa* L.);
- Investigar a atividade antioxidante de cada extrato e fração e relacionar com a fitotoxidez dos mesmos;
- Identificar os perfis de metabólitos presentes e correlacionar com a bioatividade dos extratos e frações.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção, será apresentada uma breve revisão sobre os conceitos relacionados ao aproveitamento de resíduos agroindustriais, especificamente da cúrcuma e do gengibre, bem como temas relacionados a fitotoxidez e capacidade antioxidante de plantas.

3.1 ECONOMIA CIRCULAR E BIORRESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Com o crescimento exponencial da população mundial, a expansão da classe consumidora e a conseqüente alta demanda por recursos no último século, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico prevê que o grupo da classe consumidora alcance 5 bilhões em 2030 (MGI, 2011; OCDE, 2018). A preocupação é que a demanda supere a oferta, ou seja, supere a capacidade de repor os recursos naturais. Buscando fugir da tradição econômica que vivemos até então de economia linear, baseada em extrair, produzir e descartar recursos finitos repetidas vezes, surgiu a abordagem de economia circular, que por sua vez, tem como objetivo estender o ciclo de vida dos produtos, reutilizando-os, reciclando-os ou restaurando-os, a fim de mantê-los por maior tempo possível na economia, recuperando e valorizando subprodutos (WEETMAN, 2019).

Resumidamente, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, define bioeconomia como a economia voltada para o desenvolvimento e uso de produtos e processos biológicos, que vem se consolidando principalmente na Europa e Estados Unidos, seguindo os objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas (OCDE, 2018).

A Estratégia para a Bioeconomia, lançada pela Comissão Europeia em 2012 e atualizada em 2018, visa promover o emprego, crescimento e investimento europeu, a fim de estabelecer “uma bioeconomia circular e sustentável que permita melhorar e ampliar o uso sustentável de recursos renováveis, em resposta a desafios globais e locais, como as alterações climáticas e o desenvolvimento sustentável” (BELL, 2019, p. 14). A bioeconomia e economia circular, quando atreladas, resultam em maior rentabilidade e sustentabilidade para o país.

A Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e a Agricultura (FAO), estima que os resíduos agroindustriais gerados no mundo representam cerca de um

terço da parte do que é produzido para o consumo propriamente dito (GUSTAVSSON *et al.*, 2011; FAO, 2013). A preocupação com o destino dos inúmeros resíduos agroindustriais vem crescendo a nível mundial e é perceptível o amplo espectro de pesquisas que tem sido realizadas para investigar a composição química e a bioatividade de tais resíduos, para que estes tenham uma destinação útil (PINELA *et al.*, 2017).

Essa preocupação global caminha em direção à biotecnologia que visa o desperdício zero (NNOLIM; OKOH; NWODO, 2020) e a minimização de possíveis impactos ambientais. O Brasil, como importante produtor e exportador agrícola do mundo (FAO, 2013), tem realizado diversas pesquisas relevantes acerca dos diferentes subprodutos que gera.

Subprodutos agroindustriais são os compostos que resultam de um processo produtivo e, se o processo pertencer a indústrias de alimentos de origem vegetal, os resíduos podem ser raízes, caules, folhas, flores, frutos, sementes, o que logicamente depende do foco da cultura. A grande gama de subprodutos gerados, é predominantemente de natureza lignocelulósica, portanto ricos em polissacarídeos como lignina, celulose e hemicelulose (NNOLIM; OKOH; NWODO, 2020).

Biorresíduos gerados durante o processamento ou pós-colheita de vegetais, são interessantes pois a partir destes pode-se recuperar compostos bioativos como, terpenos, fenóis, alcaloides, ácidos graxos, vitaminas, fibras, entre outros (ALBUQUERQUE *et al.*, 2021). Contudo, cada subproduto apresenta características intrínsecas, assim se faz necessário a caracterização química e testes de bioatividade para o aproveitamento biotecnológico, seja objetivando a síntese de biomoléculas industrialmente importantes (PANESAR *et al.*, 2016) ou a produção de biocombustíveis (MARZO *et al.*, 2019).

Com as tentativas de aplicar conceitos da bioeconomia, inúmeras potencialidades dos subprodutos agroindustriais têm sido descobertas, desde o possível uso como aditivos alimentares (CONCEIÇÃO *et al.*, 2020); potenciais antioxidantes (AÑIBARRO-ORTEGA *et al.*, 2020; VELOSO *et al.*, 2020; ALBUQUERQUE *et al.*, 2021); antiinflamatórios (KAKAEI; SHAHBAZI, 2016); antimicrobianos (AÑIBARRO-ORTEGA *et al.*, 2020; CONCEIÇÃO *et al.*, 2020; VELOSO *et al.*, 2020; ALBUQUERQUE *et al.*, 2021); fertilizantes (PADILHA *et al.*, 2014); incrementos na nutrição animal (MALTA *et al.*, 2017), entre outros fatores que promovem a circularidade de recursos.

É nitidamente possível a recuperação de moléculas de alto valor agregado de subprodutos agrícolas em uma circularidade, de modo que se tornem nutrientes ou outros bioativos em novos processos, dentro de princípios da economia sustentável.

3.2 ALELOPATIA: DEFINIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO DOS ALELOQUÍMICOS E APLICAÇÕES

Enquanto organismos sésseis, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa visando a sobrevivência e a perpetuação da espécie. Entre as adaptações, está a produção e liberação de metabólitos secundários, que diferente dos metabólitos primários envolvidos basicamente no desenvolvimento vegetal, estes agem como uma resposta de defesa da planta contra patógenos ou para repelir herbívoros; atrair polinizadores ou interferir no desenvolvimento de outras plantas que estejam competindo pelos mesmos recursos, ou seja: metabólitos secundários estão estritamente relacionados à interação da planta com o ambiente (CARVALHO, 2013; TAIZ *et al.*, 2017).

Especificamente sobre a liberação de metabólitos secundários interferindo no desenvolvimento de outras plantas, muitas pesquisas têm sido realizadas geralmente introduzindo o assunto alelopatia usando a etimologia da palavra: *alelo*= um ao outro; e *pathos*= doença, sofrimento, interferência (MOLISCH, 1937). A alelopatia ocorre então, quando a planta ainda viva ou sua matéria orgânica já em decomposição libera no meio compostos químicos produzidos por ela mesma, podendo interferir positivamente ou negativamente no desenvolvimento de outras plantas (ZIMDAHL, 2018).

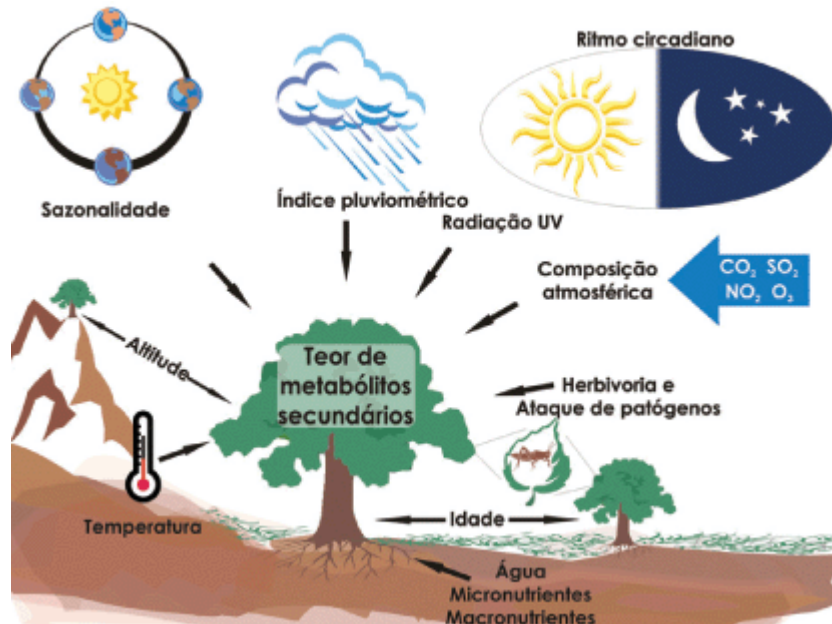
A alelopatia já foi muito investigada, mas o interesse nessa área continua crescente, principalmente no que diz respeito a espécies invasoras de habitats importantes para a economia (TAIZ *et al.*, 2017).

Se quando liberados no solo, apresentarem efeitos nocivos sobre plantas vizinhas, inibindo a germinação e desenvolvimento destas, tais metabólitos secundários recebem o nome de aleloquímicos pois exibiram um efeito alelopático. Aleloquímicos de *Centaurea maculosa*, por exemplo, podem desencadear espécies reativas de oxigênio em plantas sensíveis, alterar a expressão dos genes e, conseqüentemente, causar a morte celular das mesmas (BERNARDS, 2010; TAIZ *et al.*, 2017).

As atividades fitotóxicas afetam a integridade das membranas; produção de proteínas; atividade enzimática; metabolismo energético; balanço hormonal e hídrico, além de diminuir a eficiência das divisões celulares (MARTÍNEZ-PEÑALVER *et al.*, 2012).

Dependendo da espécie, os aleloquímicos podem ser produzidos por diversos órgãos da planta (WESTON; DUKE, 2003) desde raízes, caule, folhas, flores, sementes e frutos, variando a quantidade produzida de acordo com vários fatores (FIGURA 1), como estágio de desenvolvimento, condições de armazenamento interno, presença de patógenos ou condições ambientais como sazonalidade, composição do solo, clima, radiações, temperatura e disponibilidade de recursos (PUTNAM, 1985; GLOBBO-NETO; LOPES, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2019).

FIGURA 1 - PRINCIPAIS FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR O ACÚMULO DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS NAS PLANTAS



FONTE: GLOBBO-NETO; LOPES (2007).

Quando apresentam característica volátil, os aleloquímicos podem ser liberados por volatilização, lixiviação ou exsudação radicular; assim como também podem ser liberados durante a decomposição da planta (CARVALHO, 2013; JABRAN *et al.*, 2015).

Quanto à classificação, os aleloquímicos podem ser terpenos, compostos fenólicos ou alcaloides (TAIZ *et al.*, 2017). Os terpenos, diversificada classe de compostos bioativos que abrange desde mono até politerpenos, variando conforme a

quantidade de isoprenos, são produzidos a partir da via do ácido 3-fosfoglicérico e ácido mevalônico (CARVALHO, 2013). Apresentam potencial inseticida em pineno e mirceno; atraem polinizadores em limoneno; de característica repelente em lactonas sesquiterpênicas e tóxica em saponina, por exemplo. Muitos estudos para o desenvolvimento de herbicidas envolveram monoterpenos como 1,4-cineole e 1,8-cineole devido a seu efeito fitotóxico (HAIG, 2008).

Os compostos fenólicos se caracterizam por um grupo diverso de fitoquímicos largamente encontrados na natureza, que apresentam em comum anéis de fenol, sendo produzidos a partir da via do ácido chiquímico e ácido malônico. Podem ser por exemplo cumarinas, taninos e flavonoides, sendo este último o grupo mais conhecido (STALIKAS, 2007; CARVALHO, 2013). Compostos fenólicos de origem vegetal são exemplos de antioxidantes naturais, enquanto aceptores de radicais livres, interrompem a reação em cadeia provocada pelos mesmos (HO *et al.*, 1994).

Os alcaloides por sua vez, são compostos orgânicos cíclicos que possuem pelo menos um átomo de nitrogênio, sendo produzidos a partir da via do ácido chiquímico. Conhecidos desde a antiguidade devido as suas propriedades farmacológicas expressivas especialmente no sistema nervoso humano, tem como compostos mais conhecidos a nicotina, cocaína e morfina (CARVALHO, 2013). São importantes para a planta que o produz pois a defendem de herbívoros, patógenos e da competição com outras plantas; interferindo na atividade enzimática, no material genético e na integridade celular destas (QUINN; KESSELL; WESTON, 2014).

Conhecendo tal diversidade de metabólitos secundários e sabendo que plantas que produzem aleloquímicos podem inibir ou reduzir o crescimento de outras plantas, é compreensível a razão dos estudos recentes se concentrarem no impacto dos aleloquímicos sobre o manejo de plantas daninhas (LATIF; CHIAPUSIO; WESTON, 2017), seja usando compostos bioativos diretamente como herbicidas ou servindo de modelo para o desenvolvimento de novos (ZIMDAHL, 2018).

Desde muitas décadas, se sugere que a alelopatia possa ser uma ferramenta de controle (ALDRICH, 1984), que pode ser alcançado como estratégia única ou combinada com outras para um efetivo gerenciamento. A implementação pode ser feita cultivando plantas alelopáticas próximo de daninhas ou na rotação de culturas e na cobertura do solo, desde que a cultura de interesse a ser plantada em seguida não seja afetada por tais aleloquímicos. Centeio, trigo e sorgo por exemplo, são utilizados

como culturas rotativas ou plantas companheiras de plantas cultivadas, devido ao seu potencial alelopático sobre plantas daninhas (BARNES; PUTNAM, 1983).

Entretanto, do momento da descoberta de compostos com ação alelopática até a comercialização de fato, é um processo lento, porque é necessário primeiramente quantificar a interferência em uma comunidade, então isolar e caracterizar o suspeito aleloquímico e por fim monitorar desde a liberação até a absorção pela planta alvo, analisando o amplo espectro de mecanismos de ação (PUTNAM, 1985; ZIMDAHL, 2018). Para que a alelopatia seja de fato comprovada, a planta em estudo deve produzir e liberar no ambiente, aleloquímicos cuja concentração seja inibitória em plantas suscetíveis e deve-se descartar outros possíveis fatores de interferência (SOUZA FILHO, 2002).

Estimar a concentração de aleloquímicos isolados ou em conjunto no ambiente é complexo também devido ao caráter transitório do solo, por isso estudos conclusivos exigem a extração e isolamento em laboratório. Também é necessário analisar se os compostos identificados são produzidos em quantidade suficiente pela planta a ponto de ser viável sua comercialização. São poucos os aleloquímicos cujo modo de ação está totalmente elucidado, pois de modo geral os estudos se restringem sobre a análise na redução da germinação e crescimento da planta-alvo (WEIR; PARK; VIVANCO, 2004; ZIMDAHL, 2018).

É interessante destacar a diferença entre as pesquisas em alelopatia e em fitotoxicidade. Na alelopatia os compostos desejáveis são extraídos com água por lixiviação ou exsudação, simulando como aconteceria naturalmente no ambiente em que a planta vive. Por outro lado, nas pesquisas em fitotoxidez, os compostos geralmente são extraídos por solventes orgânicos utilizando equipamentos laboratoriais especializados (REIGOSA *et al.*, 2013).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos aponta que praticamente 70% dos novos princípios ativos criados de 1997 a 2010, são de origem natural (CANTRELL *et al.*, 2012). Pela maioria dos produtos naturais serem facilmente biodegradáveis e não causarem danos ao meio ambiente tem sido alvo de estudo para desenvolvimento de bioherbicidas, sendo uma alternativa ao uso excessivo de agroquímicos de custo elevado, danosos à saúde humana e geradores de desequilíbrios ambientais (LIMA *et al.*, 2018).

3.3 COMPOSTOS ANTIOXIDANTES

Espécies reativas de oxigênio (EROS), são formas reduzidas de oxigênio que reagem com outras substâncias podendo gerar cascatas de reações. Conforme o organismo fica exposto a situações de estresse, EROS como radicais superóxido (O_2^-), hidroxila (OH^-) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), se acumulam nas células, podendo causar efeitos prejudiciais (TAIZ *et al.*, 2017).

Compostos antioxidantes são assim chamados por equilibrarem esses efeitos nocivos, abrandando as reações oxidantes causadas pelas espécies reativas de oxigênio, ao passo que eliminam tais radicais livres. Divididos em dois principais grupos, existem antioxidantes enzimáticos, como glutathione peroxidase, catalase e superóxido dismutase, por exemplo, e os não enzimáticos, que majoritariamente necessitam ser absorvidos de forma exógena, como as vitaminas lipossolúveis (vitamina A, e E), hidrossolúveis (vitamina C, vitaminas do complexo B), oligoelementos (zinco, cobre, selênio, magnésio), e compostos fenólicos derivados de vegetais (HALLIWELL, 1990).

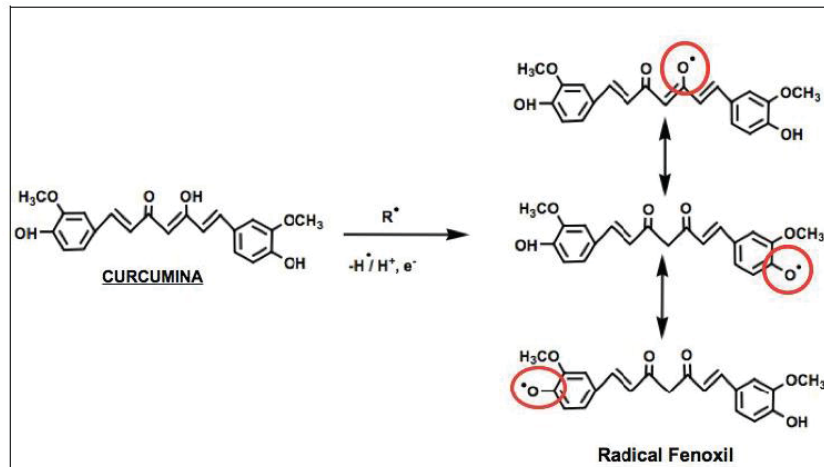
Diferentes compostos antioxidantes sintéticos são utilizados como aditivos alimentares para prevenir processos de deterioração oxidativa, entretanto o consumo crônico desses compostos causa riscos a saúde humana. É perceptível o crescimento recente nas pesquisas que buscam substituir ou minimizar o uso de antioxidantes sintéticos por naturais, aprimorando-se em fontes que sejam, inclusive, resíduos de processamento da agroindústria (SHIRAHIGUE; CECCATO-ANTONINI, 2020).

Alguns exemplos de antioxidantes identificados em subprodutos de culturas de forte influência no agronegócio podem ser citados, como o resveratrol na casca da uva (JAYAN *et al.*, 2019); proantocianidinas nas sementes de uva; quercetina da casca da maçã; hesperidina na casca da laranja; oleuropeína na azeitona (SIMITZIS, 2018); ácido ferúlico nos grãos de aveia, centeio e cevada (SEARLE *et al.*, 2020); quercetina e antocianina na casca da manga (SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015) (tirei tudo de gomes 2020) e licopeno e β -caroteno de tomates não comercializáveis (PINELA *et al.*, 2017).

A atividade antioxidante da curcumina, composto presente na cúrcuma e no gengibre, é justificada pelo fato de possuir três sítios ativos que podem sofrer oxidação por transferência de elétrons e abstração de hidrogênio. A reação química resulta na

formação do radical fenoxil, mais estável e menos reativo (PRIYADARSINI, 2014; ALSHERBINY *et al.*, 2018), ilustrado na Figura 2.

FIGURA 2 - SÍTIOS DE AÇÃO DA CURCUMINA PARA AS ESPÉCIES REATIVAS DE OXIGÊNIO



FONTE: Borges *et al.* (2019).

Existem vários métodos de extração de compostos antioxidantes de vegetais, e a eficiência de cada um depende, entre vários fatores, da natureza do vegetal. Anteriormente a extração, é necessário que os vegetais sejam triturados, desidratados, liofilizados ou congelados a fim de conservar os compostos. Entre as técnicas de extração mais difundidas, está a que utiliza solventes de diferentes polaridades, como água, etanol, éter ou metanol e a que extrai com gases, como o dióxido de carbono, em condições críticas de pressão e temperatura (ANDREO; JORGE, 2006).

3.4 PLANTAS MEDICINAIS

O atual interesse nacional e internacional na comercialização de plantas medicinais pode ser explicado pela alta demanda da indústria por novas moléculas bioativas a partir de óleos essenciais; por serem uma alternativa ao medicamento sintético que frequentemente causa efeitos colaterais ou porque simplesmente, em locais isolados, podem ser a única forma de medicação imediata disponível.

Entre os programas prioritários da Organização Mundial de Saúde (OMS), está o estudo científico de plantas medicinais (ALMEIDA, 2011). O uso seguro das plantas é fomentado pela Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (PNPMF), e

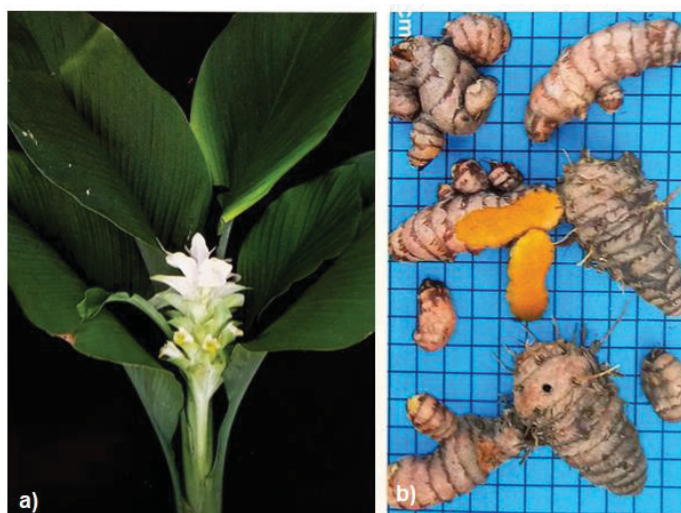
pelo Programa Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos, considerados marcos históricos brasileiros porque, entre várias razões, garantiram facilidade de acesso às plantas medicinais, aliando conhecimento popular e pesquisas científicas e subsidiando pesquisadores desde cursos de graduação e pós-graduação até institutos de pesquisa a investigarem os potenciais das plantas medicinais (BRASIL, 2006).

3.4.1 Cúrcuma: morfologia, composição química e bioatividade

No presente trabalho, optou-se por denominar a espécie *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae) de cúrcuma, pois acredita-se que outros nomes populares como açafraão-da-terra ou falso-açafraão, possam gerar confusão com o açafraão verdadeiro (*Crocus sativus* L.), que pertence a outro gênero e a outra família (Iridaceae) (SILVA, 2001), não fazendo parte de nosso objeto de estudo.

Nativa da Índia e distribuída atualmente pelas regiões tropicais e subtropicais do mundo, de caráter herbáceo, a cúrcuma pode atingir até 1,50 metro de altura, com pseudocaule formado por pecíolos tão compridos quanto os limbos, que são oblongo-lanceolados e suas folhas apresentam nervuras visíveis (SILVA, 2001). Possui inflorescências do tipo espiga, terminais ou laterais, com flores estéreis que variam entre branco e amarelo. Pelos órgãos sexuais serem atrofiados, a espécie se reproduz de forma vegetativa (SILVA, 2001), pelo caule subterrâneo chamado rizoma. Habitualmente, na dieta ocidental são utilizados os rizomas, contudo na Índia, é tradicional seu uso como condimento na culinária e medicina (CHAN; LIM; WONG, 2011).

Os rizomas principais medem em torno de 12 centímetros de comprimento e até 5 de diâmetro, de característica ovalada, por outro lado, os rizomas laterais possuem formato mais alongado e fino. Externamente os rizomas possuem coloração amarelo-palha e cicatrizes anelares onde havia bainhas foliares e raízes. Internamente, quando maduros, os rizomas apresentam coloração vermelho-alaranjada, característica marcante da espécie (ANVISA, 2019) (FIGURA 3).

FIGURA 3 - MORFOLOGIA DE *Curcuma longa* L.

FONTE: Adaptado de LORENZI; MATOS (2011).
LEGENDA: a) Folhas e flores; b) Rizoma.

A importância econômica dessa planta envolve seu rizoma, principalmente por fornecer níveis significativos de fitoquímicos bioativos utilizados para fins medicinais, farmacológicos e culinários. As formas de comercialização variam entre o rizoma *in natura*; em conserva e em pó, conhecido como turmerico, que é a forma mais consumida mundialmente na culinária (PEREIRA, 2019).

A maior parte dos compostos identificados na cúrcuma são terpenos voláteis no óleo essencial e os curcuminóides na parte não volátil, sendo os mais importantes: curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina (SUETH; SANTIAGO *et al.*, 2015), responsáveis pela sua coloração amarela, sendo a curcumina o componente mais investigado pela ampla gama de bioativos já conhecidos.

Desde a antiguidade, a medicina indiana utiliza o rizoma da cúrcuma na prática milenar Ayurvédica, por esta planta apresentar propriedades antibacteriana, anti-inflamatória, auxiliar o tratamento de feridas, queimaduras, reumatismo, doenças gastrointestinais e respiratórias (NAIR, 2019). Considerado pela FAO/WHO como corante de alimentos (PEREIRA; STRINGUETA, 1998), pode ser extraído da cúrcuma o componente curcumina, para substituir o corante sintético tartrazina na indústria alimentícia (CARVALHO, 1992), utilizado para colorir condimentos, macarrão e sorvete, por exemplo, além de servir para tingir tecidos na indústria têxtil.

Até o presente contexto, constantemente são publicadas no meio científico investigações das propriedades desta planta, principalmente visando comparar com de outras plantas medicinais. Estudos mais recentes como de Santhoshkumar e Yusuf

(2019) investigaram sobre a composição de extratos voláteis do rizoma de várias espécies de cúrcuma da Índia, e notaram que *C. longa* L. foi uma das espécies com maior número de compostos detectados, sendo principalmente 1,8 cineole, cânfora, canfeno, ar-curcumeno e beta-elemeno.

Além da composição química, também foram realizados diversos estudos sobre potenciais atividades biológicas de *C. longa* L., entre elas destacam-se, por exemplo, a atividade antimicrobiana (MAGHIMAA; ALHARBI, 2020; TAMFU *et al.*, 2020); antioxidante (SUETH-SANTIAGO *et al.*, 2015) e anti-inflamatória (HE *et al.*, 2015; GRASSO, AOYAMA; FURLAN, 2017). Além de comprovarem o efeito anti-inflamatório da cúrcuma, Zarei *et al.* (2020) comprovaram o mesmo em gengibre. Somado a isto, há um amplo espectro de pesquisas investigando a capacidade antitumoral da cúrcuma. No trabalho de Shankar *et al.* (2007), por exemplo, aponta-se a curcumina como um estimulante da expressão de proteínas apoptóticas em células de câncer de próstata.

Ademais, a cúrcuma apresenta-se como um potencial composto larvicida (PEREIRA; JUNIOR; COCCO, 2016), auxilia em casos de redução de necrose (ADEYEMI; AWONIRAN, 2019) e tem mostrado resultados promissores como composto antiparasitário, inibindo, por exemplo, o crescimento de *Plasmodium falciparum* (SUETH-SANTIAGO *et al.*, 2015).

Sobre estudos recentes do potencial fitotóxico da cúrcuma, foi encontrado apenas o trabalho de Akter *et al.* (2018) relatando que os componentes bioativos dihidrobisdemetoxicurcumina, bisdemetoxicurcumina, demetoxicurcumina e curcumina obtidos de um extrato metanólico do rizoma, inibiram a germinação de *Bidens pilosa* L.

Assim como acontece em gengibre, a maioria dos estudos sobre cúrcuma se concentram na investigação de compostos químicos e atividades biológicas do rizoma. Braga e Oliveira, (2016) por sua vez, avaliaram a qualidade físico-química das folhas de cúrcuma, e quanto a composição centesimal das folhas, observaram que:

“(...) apresentou quantidades apreciáveis de proteínas (39,5g (100g)⁻¹ ±0,91), carboidratos (44,74g (100g)⁻¹±1,04), fibras totais (34,47g (100g)⁻¹±0,98), sendo fibra solúvel (22,65g (100g)⁻¹±0,65), fibra insolúvel (11,81g (100g)⁻¹±0,34), cinzas (13,81g (100g)⁻¹±1,05), e baixo teor de lipídeos (2,47g (100g)⁻¹±0,12). A composição mineral mostrou maiores valores de Na, Mg, Ca, K, P e Mn. Outros minerais foram Fe e Zn. Observou-se baixos teores de nitrato 0,05 mg/g±0,00 (folha fresca) e 0,46-0,47mg/g 22 (folhas secas). (BRAGA; OLIVEIRA, 2016, p. 50).”

3.4.1.1 Contextualização do cultivo e comercialização da cúrcuma

Na literatura brasileira, são escassas as informações técnicas e científicas sobre o cultivo e comercialização da cultura de cúrcuma, bem como dados estatísticos atualizados e confiáveis.

Entre os maiores produtores de cúrcuma do mundo, está a Índia, Paquistão, Taiwan e Jamaica, sendo Estados Unidos e Japão os maiores consumidores (PEREIRA, 2019).

Desde que foi trazida para o Brasil durante a colonização pelos portugueses, é produzida em regiões como São Paulo, Minas Gerais e Goiás, sendo este último o maior produtor nacional (PEREIRA, 2019). A planta desenvolve-se bem em regiões tropicais e subtropicais úmidas, em temperaturas médias de 20 a 30°C e solos de textura argilo-arenosa com boa drenagem, de pH entre 5,8 e 6,8, necessitando de pelo menos 1.500 mm de água por ano e podendo ser cultivada até 1.500 m de altitude (MILAN, 1992).

Assim como o plantio, o manejo e a colheita são feitos geralmente de forma manual, característico da mão de obra familiar (BORGES, 2009). Geralmente são obtidas produtividades médias de rizomas frescos de 12 t/ha (PEREIRA, 2019).

No Brasil, durante o cultivo comercial do rizoma de cúrcuma, são gerados subprodutos que são descartados, como as folhas, por exemplo. Algumas fontes apontam que é comum a queima dessa parte aérea antes da colheita do rizoma (BORGES, 2009).

3.4.2 Gengibre: morfologia, composição química e bioatividade

Pertencente à família Zingiberaceae, a espécie *Zingiber officinale* Roscoe, conhecida popularmente como gengibre, é originária do sudeste da Ásia (MUNDA *et al.*, 2018) e foi espalhado pela China, América Latina, Jamaica, Áustria, Japão e África (HASAN *et al.*, 2012). Há séculos essa espécie, que possui aroma e sabor característicos, é utilizada como alimento, especiaria, suplemento, aromatizante e em medicamentos, uma vez que possui nutrientes e atividades farmacológicas comprovadas (VERNIN; PARKANYI, 2005; BALIGA *et al.*, 2011).

Essa planta herbácea perene pode atingir até praticamente 1,50 metro de comprimento, com parte aérea possuindo pseudocaule verde e folhas alternas,

estreitas de aparência lanceolada. As flores possuem coloração amarela esverdeada e cada uma é envolta por brácteas finas (FIGURA 4). O órgão de maior interesse da planta é o caule subterrâneo do tipo rizoma, que frequentemente é denominado erroneamente de raiz, inclusive nos manuais técnicos de cultivo. Tais rizomas são robustos, carnosos e fortemente aromáticos, podendo crescer até 50 centímetros de comprimento com nós caulinares visíveis e casca escamosa, de onde partem numerosas raízes (MORELLI, 2010).

FIGURA 4 - MORFOLOGIA DE *Zingiber officinale* Roscoe



FONTE: Adaptado de LORENZI; MATOS (2011).
LEGENDA: a) Folhas e flores; b) Rizoma.

O rizoma é responsável pela propagação vegetativa da planta e pelo armazenamento de nutrientes de reserva (RAVINDRAN *et al.*, 2005). Economicamente, o rizoma contém compostos não voláteis e compostos voláteis (óleo essencial), responsáveis pelo sabor, aroma e potencial medicinal característico da planta (SHARIFI-RAD *et al.*, 2017). Este caule subterrâneo contém basicamente carboidratos, proteínas, água, ácidos graxos e óleo volátil (BALIGA *et al.*, 2011; VERNIN; PARKANYI, 2005).

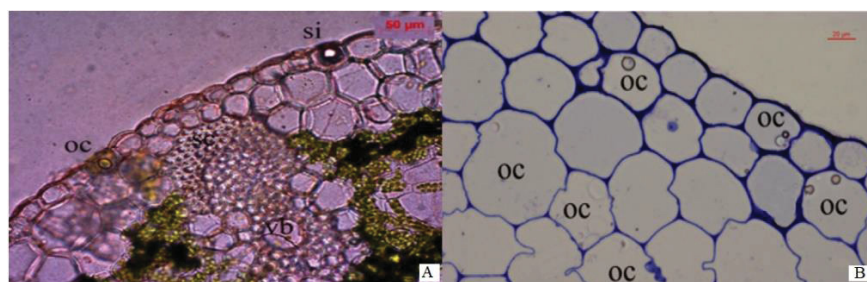
O gengibre contém muitos componentes ativos, dentre eles terpenos e compostos fenólicos (PRASAD; TYAGI, 2015) como gingeróis, quercetina, zingerona, gingerona, desidrogenodiona, shogaol, paradol (JI *et al.*, 2017; KIYAMA, 2020). A pungência do gengibre fresco é atribuída principalmente aos gingeróis, por outro lado a pungência do gengibre seco é devida aos shogaols (ALSHERBINY *et al.*, 2018). O óleo volátil possui sesquiterpenos (como zingibereno, curcumeno, farneseno, e

monoterpenos, como limoneno, cineol, linalol, borneol, geraniol, neral, canfeno, bisaboleno (GOVINDARAJAN, 1982; YEH *et al.*, 2014; ALSHERBINY *et al.*, 2018). Variações na composição dependem das condições de armazenamento, processamento, cultivo e a colheita da planta (BALIGA *et al.*, 2011).

Kiyama (2020) foi um dos pesquisadores que analisou as atividades dos componentes de gengibre e discutiu as bases moleculares para compreender seus efeitos farmacológicos. Efeitos biológicos têm sido relatados para esses constituintes, sendo atividade farmacológica do gengibre atribuída principalmente ao gingerol e shogaol (SINGH *et al.*, 2018). Muitas tecnologias têm sido aplicadas para extrair, processar, isolar e analisar os componentes do gengibre para entender seus efeitos benéficos e então desenvolver produtos inovadores baseados em tais efeitos (KIYAMA, 2020).

Liu *et al.* (2020) realizaram a caracterização anatômica das folhas e rizoma do gengibre, e registraram a presença de células produtoras de óleo nas folhas e no rizoma (FIGURA 5). O número de células produtoras e cavidades secretoras de óleo aumenta conforme a planta se desenvolve, onde acaba se acumulando o óleo essencial da planta, buscado para fins medicinais. Esses autores forneceram assim uma explicação anatômica para o motivo de os rizomas maduros serem mais saborosos em comparação com os mais jovens.

FIGURA 5 - ANATOMIA DAS FOLHAS DE *Zingiber officinale* Roscoe



LEGENDA: A) Secção transversal das folhas maduras com célula produtoras de óleo; B) Células produtoras de óleo da epiderme e do parênquima; oc) Célula produtora de óleo; si) célula de sílica.

FONTE: Adaptado de LIU *et al.* (2020).

O gengibre é reconhecido como seguro para consumo pela *American Food and Drug Administration* (FDA) (AZIZI *et al.*, 2016) a partir de inúmeras pesquisas científicas renomadas que comprovam suas propriedades medicinais.

Essa planta tem sido utilizada no tratamento de problemas respiratórios como asma; problemas digestivos; cardiovasculares (WU *et al.*, 2018; MAO *et al.*, 2019),

imunológicos, demonstrando ação anti-inflamatória e antimicrobiana (DUGASANI *et al.*, 2010; EL-GHORAB *et al.*, 2010; NOORI; ZEYNALI; ALMASI, 2018; ALSHERBINY *et al.*, 2018; ZAREI *et al.*, 2020); para o tratamento de problemas neurológicos e de enxaqueca (MAGHBOOLI *et al.*, 2014); distúrbios metabólicos reduzindo índices glicêmicos e de colesterol (BALIGA *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2017; EZZAT *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018; ZHU *et al.*, 2018) distúrbios hormonais (KIYAMA, 2020); além de ter efeito antitumoral (BALIGA *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2015; DISSANAYAKE *et al.*, 2020).

Extratos aquosos do rizoma de *Curcuma longa* e *Zingiber officinale* demonstraram atividade citotóxica em carcinoma do cólon humano (VENKATADRI *et al.*, 2020). Além disso, a planta apresenta ação antioxidante comprovada *in vitro* e *in vivo*, devido à sua capacidade de combater radicais livres, sendo associados à prevenção de muitas doenças (EL-GHORAB *et al.*, 2010; WU *et al.*, 2018); efeito radioprotetor, hepatoprotetor, nefroprotetor, neuroprotetor, gastroprotetor e protetores do sistema reprodutivo. (ALSHERBINY *et al.*, 2018).

Os componentes gingerol, shogaol, zingerone e zerumbone de extratos de gengibre evidenciam melhoria na toxicidade induzida pelos raios UV e a produção de espécies reativas de oxigênio, tanto em modelos *in vivo* como *in vitro* pré-clínicos (YANG *et al.*, 2018).

A curcumina originalmente isolada de *Curcuma longa L.*, também está presente no *Zingiber officinale* Roscoe, e possui efeitos antioxidantes, antiulcerosos, anticancerígenos, cardioprotetores, antidiabéticos, antimaláricos, antimicrobianos e neuroprotetores (KOCAADAM; SANLIER, 2017; AKBAR *et al.*, 2018)

Pesquisas demonstram que além dos rizomas, as folhas e as flores de algumas espécies da família Zingiberaceae possuem potencial medicinal. Folhas de gengibre também são aromáticas e têm sido usadas para aromatizantes e na medicina tradicional (AZIZI *et al.*, 2016; SOARES *et al.*, 2018).

Pesquisas como de Raj *et al.* (2012) que envolviam outra espécie da família Zingiberaceae (*Alpinia purpurata*), analisaram a atividade antimicrobiana de diferentes partes da planta e notaram que o rizoma, as folhas e as raízes apresentaram atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* e *Lactobacillus* spp., e o acetato de etila foi o extrato que mais mostrou atividade. Saad *et al.* (2014). Jardim *et al.* (2019) demonstraram atividade antioxidante e antibacteriana de extratos aquosos não só dos

rizomas de gengibre, como também de suas folhas, contra *Escherichia coli* de fezes humanas.

3.4.2.1 Contextualização do cultivo e comercialização do gengibre

O crescimento acentuado da cultura de gengibre no agronegócio brasileiro coloca o país em posição de destaque mundial, sendo o terceiro maior produtor mundial de gengibre, ficando atrás apenas da China e Índia, sendo que em termos de exportação, a maior concorrência é de fato com a China, afinal a grande produção indiana tem foco no mercado interno, exercendo papel principal como consumidor e não exportador desta especiaria (SAFRA-ES, 2021).

O comércio internacional do gengibre envolve o rizoma *in natura*, em conserva e seco, além de seu óleo essencial, sendo a forma *in natura* a mais requisitada para exportação (INTERNATIONAL TRADE CENTRE, 1986). As regiões que mais produzem gengibre no Brasil são a Sudeste, Nordeste e Sul, nesta última representada pelo Paraná (SEAG, 2007).

O Espírito Santo é reconhecido nacional e internacionalmente como o maior produtor e exportador do Brasil, sendo responsável por 60% da produção e 80% das exportações brasileiras de gengibre, cujo destino é a Europa e os Estados Unidos (OCBES, 2009). De acordo com o Boletim da Conjuntura Agropecuária Capixaba, em 2019 a área colhida de gengibre foi de 499 ha produzindo um total de 26,6 mil toneladas (GALEANO; RIBEIRO; COSTA, 2019).

O gengibre se desenvolve bem em clima tropical e subtropical, necessitando de um índice de precipitação acima de 2000 mm por ano. É importante que o solo tenha caráter argiloso, evitando o encharcamento e apodrecimento dos rizomas (MORELLI, 2010).

Assim como na cultura da cúrcuma, o plantio, o manejo e a colheita do gengibre são feitos manualmente no Brasil. Antes da colheita, as folhas costumam ser roçadas e depositadas sobre as leiras, servindo como uma proteção contra radiação solar que poderia incidir sobre os rizomas (ELPO; NEGRELLE; RUCKER, 2008; CARMO, *et al.*, 2019).

3. 5 PLANTAS DANINHAS: CARACTERÍSTICAS E ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

As denominações “plantas daninhas”, “plantas invasoras”, “plantas infestantes”, e “ervas daninhas”, são comumente utilizadas na literatura desde muito tempo, para se referir a plantas que infestam o local onde está sendo ou será desenvolvido algum plantio, denominadas por Carvalho (2013) como “qualquer planta que cresça espontaneamente em um local de atividade humana e cause prejuízos a essa atividade”. Lorenzi (2008) chama a atenção para a relatividade desses termos, pois o local e o momento é que determinarão se as plantas são indesejáveis ou não. Essas plantas daninhas são assunto importante para a economia, desde quando tais infestações se tornaram um problema em grandes culturas, aumentando custos de produção e diminuindo a produtividade das áreas de plantio.

De acordo com seu habitat, as plantas daninhas podem ser classificadas de forma geral como aquáticas, terrestres ou parasitas e dependendo de seu hábito de crescimento, são classificadas principalmente como herbáceas, arbustivas ou arbóreas. Uma forma comum de classificar as plantas daninhas visando o controle ou a erradicação, é de acordo com a duração de seu ciclo de vida, podendo ser classificadas em anuais, bianuais ou perenes (LORENZI, 2008).

A maioria das plantas daninhas de importância econômica são classificadas como anuais, e como o próprio nome sugere, completam seu ciclo de vida em até um ano. Há plantas anuais de verão e de inverno, sendo as primeiras com o ciclo mais curto. As bianuais germinam e completam seu ciclo em dois anos, e as poucas espécies que existem no Brasil são mais frequentes na região Sul, onde devido à baixa temperatura, podem apresentar uma fase de dormência durante o primeiro ano do ciclo. Por outro lado, as plantas daninhas perenes completam seu ciclo de vida em mais de dois anos. É relevante destacar que dependendo das condições ambientais, fisiológicas e de manejo, algumas plantas daninhas podem apresentar mais de um comportamento de duração de ciclo de vida (CARVALHO, 2013).

Especificamente para o controle químico das plantas daninhas, foi importante a classificação de acordo com o limbo foliar, em espécies de folhas largas ou estreitas, resultando no desenvolvimento de herbicidas gramínicos, latifolicidas e de amplo espectro (LORENZI, 2008).

É atribuída às plantas daninhas de modo geral, a característica de agressividade, basicamente por conseguirem sobreviver em situações desfavoráveis. Brighenti e Oliveira (2011) justificam essa agressividade por algumas razões que estarão descritas a seguir. Primeiramente, plantas daninhas conseguem produzir alta quantidade de propágulos (seja sementes, bulbos, rizomas ou estolões). Grande parte das plantas daninhas produzem mais de 50.000 sementes por planta (CARVALHO, 2013) o que garante sua ampla propagação.

De pouco adiantaria tamanha produção, se não fossem dispersos pelo ambiente a fim de colonizá-lo, assim, plantas daninhas agressivas têm facilidade em dispersar seus propágulos, especialmente se tratando de sementes. Quando a dispersão é facilitada por algum mecanismo que a própria planta desenvolve, recebe o nome de autocoria. O amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla* L.) por exemplo, pode utilizar de propulsão mecânica, chamada também de deiscência explosiva, para lançar suas sementes até aproximadamente cinco metros de distância (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

Outra forma de dispersão é a alocria, que envolve agentes externos à planta, como água, vento ou algum ser vivo. Essa dispersão pode ser especificada ainda como endozoocoria nos casos em que a estrutura reprodutiva é carregada dentro do corpo de algum animal e epizoocoria quando é carregada fora do corpo (CARVALHO, 2013). Várias plantas daninhas têm sementes ou frutos com formas geométricas que facilitam sua dispersão, um exemplo clássico no presente contexto é o picão-preto (*Bidens pilosa* L.), que possui frutos em formato de pequenos ganchos adaptados para adesão em superfícies como objetos ou corpo de animais (LORENZI, 2008), especialmente em mamíferos, pela presença de pelos. Para que ambos os tipos de dispersão sejam efetivos, é importante que a semente seja pequena e leve, o que é característico de plantas daninhas (CARVALHO, 2013).

Quando dispersos, os propágulos são capazes de continuar viáveis por muitos anos mesmo enfrentando situações desfavoráveis, possibilitando que a área seja infestada. Algumas espécies como o picão-preto podem maturar frutos mesmo já desligadas da planta-mãe, a partir da estrutura floral em desenvolvimento (CARVALHO, 2013). Se em alguma situação as sementes estiverem localizadas em grande profundidade no solo, é comprovado que algumas espécies conseguem germinar e emergir com eficiência. O amendoim-bravo, por exemplo, pode emergir

mesmo que as sementes estejam a 20 cm de profundidade no solo (KISSMANN, 1997).

Ao germinarem e iniciarem seu desenvolvimento, apresentam a capacidade de competição com as plantas cultivadas, retirando recursos do meio, impedindo assim que estas os utilizem, afetando seu crescimento e desenvolvimento (CARVALHO, 2013). A perda na produtividade da cultura varia de acordo com as espécies envolvidas; a distribuição, densidade e estágio vegetativo da planta daninha, assim como a disponibilidade de recursos do meio (ADEGAS *et al.*, 2017).

É importante esclarecer que quando é atribuída às plantas daninhas a característica de agressividade competitiva, não se trata obrigatoriamente de uma maior necessidade de nutrientes em comparação com as plantas cultivadas, mas sim, de maior habilidade de acumulá-los em seus tecidos. A fim de exemplificar, foi relatado em amendoim-bravo, teores de nitrogênio superiores aos encontrados nas plantas cultivadas (LORENZI, 2008).

Quando se soma a rapidez das daninhas passarem do estágio vegetativo para o reprodutivo; com a capacidade de produzirem muitas sementes em situações desfavoráveis, se entende a agilidade desse tipo de planta em colonizar áreas extensas (CARVALHO, 2013). Nas situações em que as plantas cultivadas sombreiam as daninhas, estas últimas sofrem estiolamento, com o intuito de receber tanta radiação solar como as cultivadas, podendo ultrapassar o porte destas (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

É comum entre as plantas daninhas a existência de mecanismos de dormência temporária, em que não germinam assim que passam pela maturação, caracterizando seu processo germinativo como desuniforme e heterogêneo, diferente das plantas cultivadas, dificultando o controle e a erradicação. Para a daninha, isso é vantajoso principalmente perante adversidades como climas desfavoráveis, por exemplo, ao passo que possibilita a sobrevivência e maior distribuição geográfica da planta, garantindo a perpetuação da espécie (PITELLI; PITELLI, 2004).

A agressividade das plantas daninhas pode ser usufruída interferindo direta ou indiretamente nas culturas. A interferência direta pode acontecer por competição, que é a forma mais comum, em que a planta daninha remove recursos do ambiente, que seriam utilizados pelas plantas cultivadas; como também pode acontecer por alelopatia, em que a daninha adiciona no ambiente compostos químicos que produziu,

podendo diminuir o índice de germinação, biomassa e produção de sementes das plantas cultivadas (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

A Sociedade Internacional de Alelopatia, criada em 1996, define alelopatia como “qualquer processo que envolva metabólitos secundários produzidos pelas plantas, algas, bactérias e fungos que influenciam no crescimento e desenvolvimento de sistemas biológicos” (ALLEM, 2010, p.6). A atividade alelopática que o amendoim-bravo, por exemplo, desempenha na soja é uma das causas da perda de produtividade (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011). No campo é trabalhoso determinar quando está ocorrendo competição ou alelopatia entre as plantas, por isso é comum tratar como “interferência” de modo geral, “os efeitos negativos que ocorrem quando plantas daninhas convivem e causam reduções de produtividade em culturas agrícolas” (CARVALHO, 2013, p.52).

As plantas daninhas podem interferir indiretamente servindo como hospedeiras de várias pragas agrícolas ou vetores de doenças, inoculando-os nas plantas cultivadas. O amendoim-bravo, por exemplo, é infectado pelo vírus mosaico anão, doença que pode ser transmitida pela mosca-branca (*Bemisia tabaci*) para a soja, que no Paraná inclusive, foi considerado um dos mais sérios problemas dessa cultura. Esse vírus, como o próprio nome sugere, causa nanismo na soja, com redução e má formação dos folíolos, e dependendo o estágio vegetativo, apresenta mosaico no limbo foliar, podendo levar a morte da planta (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011; JABRAN *et al.*, 2015). Além disso, nematoides como *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus coffea* podem ser hospedados pelo amendoim-bravo e *Meloidogyne* spp. hospedados pelo picão-preto (CARVALHO, 2013).

Os métodos de controle aplicados sobre as daninhas como revolvimento do solo, fogo e aplicação de herbicidas, nada mais são do que fatores ecológicos que as plantas terão de enfrentar. Quando a planta ainda não enfrentou tal situação e, por isso, não desenvolveu mecanismos de adaptação, o método de controle é considerado inédito. Por outro lado, isso deixa de acontecer quando a aplicação de um mesmo método de controle sobre a mesma população acontece de forma contínua e repetida (AMARAL, 2006), afinal, a planta já possui um repertório de adaptações.

Baseado na resposta fenotípica das plantas daninhas à aplicação de herbicidas, as populações podem ser classificadas em susceptíveis ou tolerantes, termos que comumente geram confusão. Populações susceptíveis apresentam na maioria de seus indivíduos danos significativos, manifestados no fenótipo desde

redução de crescimento até morte. É considerada população tolerante quando a maioria de seus indivíduos não são afetados visualmente de forma significativa pelo herbicida e se desenvolvem normalmente, sendo chamadas de tolerantes (PITELLI; PITELLI, 2004).

Se o mesmo método de controle for aplicado repetidas vezes sobre uma população susceptível apresentando alguns indivíduos biótipo tolerante em baixa frequência, esses podem sobreviver e deixar descendentes. Ao longo de gerações de aplicação do mesmo herbicida, os indivíduos se tornam resistentes, caracterizando futuramente toda a população inicial como resistente àquele mecanismo de ação do herbicida, diminuindo a eficácia do controle. Para que o fator ecológico seja inédito para a planta, é necessário alternar os tipos de herbicida ou no mínimo, os mecanismos de ação, justificando o frequente e gradualmente desenvolvimento tecnológico de herbicidas (AMARAL, 2006).

3.5.1 Amendoim-bravo

O amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla* L.) é uma das espécies mais importantes da família Euphorbiaceae, e uma das mais preocupantes plantas daninhas da cultura da soja, trigo e milho, motivo das numerosas pesquisas no assunto. Nativa do continente americano, essa planta herbácea ereta geralmente tem 60 centímetros, mas pode atingir até dois metros de altura, tendo como suporte um caule cilíndrico geralmente coberto por pequenos pelos brancos, com inflorescência de coloração verde (FIGURA 6) (KISSMANN, 1997; LORENZI, 2008).

O epíteto específico é visualmente entendido ao analisar as folhas dessa espécie, pois possuem um formato muito variável, por isso “*hetero*” (diferentes); “*phylla*” (folhas). Por ser rica em látex leitoso, em algumas regiões do Brasil essa espécie pode ser conhecida como leiteiro, e essa riqueza em látex é, inclusive, forte razão de contaminação das culturas durante a colheita (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

Classificado como anual, o amendoim-bravo produz até três gerações em um ano e suas pequenas sementes germinam praticamente o ano todo, com índice maior em épocas quentes (GAZZIERO *et al.*, 2015). De rápido crescimento inicial, essa espécie pode causar sombreamento e competir precocemente com as plantas

cultivadas, interferindo em sua produtividade (MESCHEDE *et al.*, 2002; LORENZI, 2008).

FIGURA 6 - MORFOLOGIA DE *Euphorbia heterophylla* L.



FONTE: Adaptado de LORENZI (2008).

Inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas sobre a dificuldade de controle devido à resistência dessa espécie, cujo desenvolvimento de populações resistentes na cultura da soja, inicialmente se deu após seguidas aplicações de metribuzin e trifluralin no fim dos anos 70 no sul do Brasil (PITELLI, 1992) e nas décadas seguintes foram registrados também biótipos resistentes aos inibidores das enzimas acetolactato sintase (ALS) e protopofirinogênio oxidase (PROTOX) como por exemplo imazethapyr e lactofen, respectivamente (GAZZIERO *et al.*, 2015). No Rio Grande do Sul foi constatada resistência múltipla ao glyphosate e aos inibidores da ALS (PRADO *et al.*, 2006).

3.5.2 Picão- preto

O picão-preto (*Bidens pilosa* L.), além da expressiva fama na medicina caseira, é uma importante espécie da família Asteraceae no que diz respeito a densidade populacional nas culturas agrícolas brasileiras e comprovada resistência aos herbicidas. Nativa do continente americano, essa planta herbácea ereta pode atingir um metro e meio de altura, com caule verde e folhas serrilhadas ligeiramente pilosas; flores com pétalas brancas e frutos pretos do tipo aquênio, apresentando aristas pontiagudas e abertas (FIGURA 7), aumentando a probabilidade de se grudarem a

pelos de mamíferos ou outras superfícies que facilitem a dispersão (GAZZIERO *et al.*, 2015). De característica anual altamente prolífica, *B. pilosa* L. propaga-se por sementes, podendo produzir até três gerações por ano (LORENZI, 2008).

FIGURA 7 - MORFOLOGIA DE *Bidens pilosa* L.



FONTE: Adaptado de LORENZI, (2008).

B. pilosa L. é frequentemente confundida com *Bidens subalternans* DC., outra espécie desse gênero que é encontrada no Brasil. Estas diferenciam-se morfologicamente pela quantidade de aristas dos aquênios, de modo que em *B. subalternans* DC. há quatro aristas e *B. pilosa* L. tem de duas a três (LORENZI, 2008). Além disso, as flores de *B. subalternans* DC. possuem lígulas amareladas e seu o caule tem ramos alternados (GAZZIERO, 2015).

Como protagonista dos primeiros registros no ano de 1993 de resistência das daninhas a herbicidas no país, está o picão-preto, apresentando subpopulações resistentes a herbicidas inibidores da enzima acetolactatosintase - ALS (AGOSTINETTO; VARGAS, 2014), sendo o uso recorrente desse herbicida, o condutor principal para a seleção da resistência.

Perdas econômicas devido à reduzida eficácia dos herbicidas no picão-preto são evidentes, tanto em termos de redução volumes de produção e redução da qualidade dos cereais. Em 2014 foi constatada resistência dessa espécie ao glyphosate no México e em 2016 foi descoberta na região de Quarto Centenário - Paraná, resistência múltipla dessa espécie a um inibidor do fotossistema II, atrazina, e um inibidor de ALS, imazethapyr (TAKANO *et al.*, 2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL VEGETAL

O material vegetal utilizado neste trabalho foi coletado após a colheita dos rizomas, no período de julho de 2019, sendo as folhas de cúrcuma coletadas no município de Terra Roxa (PR) latitude 24,23336 (S) e longitude 53,97601° (O), e as folhas de gengibre coletadas no Município de Assis Chateaubriand (PR), latitude 24,18341 (S) e longitude 53,39253 (O).

Das folhas coletadas, foram selecionadas as que não apresentavam injúrias aparentes, então foram lavadas em água potável corrente, e a secagem foi feita logo após a colheita para evitar sua deterioração.

No Laboratório de Fisiologia e Nutrição de Plantas da UFPR Setor Palotina, Palotina (PR) procedeu-se a secagem das folhas em estufa de circulação de ar forçada a 40°C por 48 horas. Após a secagem, o material vegetal foi cortado com tesoura em pedaços de aproximadamente dois centímetros por dois centímetros, para facilitar a próxima etapa: a trituração em moinho tipo Willey utilizando peneira de um milímetro, no Laboratório de Química Geral da mesma instituição.

Um total de 3.000 gramas de material vegetal moído foi disposto em três béqueres de capacidade de 1.000 mL, envoltos por papel alumínio para abrigo da luminosidade e armazenados em armário a temperatura ambiente.

4.2 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS BRUTOS

Para a obtenção do extrato bruto de cada planta por meio do solvente metanol, em cada béquer contendo 1.000 gramas de material vegetal triturado, foram adicionados dois litros de metanol, homogeneizando-se com auxílio de um bastão de vidro, seguido do repouso por um período de 48 horas, ainda em condições de abrigo de luminosidade.

Em seguida, iniciou-se a extração sequencial, que ocorreu no Laboratório de Micologia e Plantas Medicinais e no Laboratório de Química Geral. Foi transferido 50 mL do líquido sobrenadante para uma proveta, filtrando-o em gaze e funil e colocando-o em evaporador rotativo a 35°C para extração do solvente metanol e obtenção do

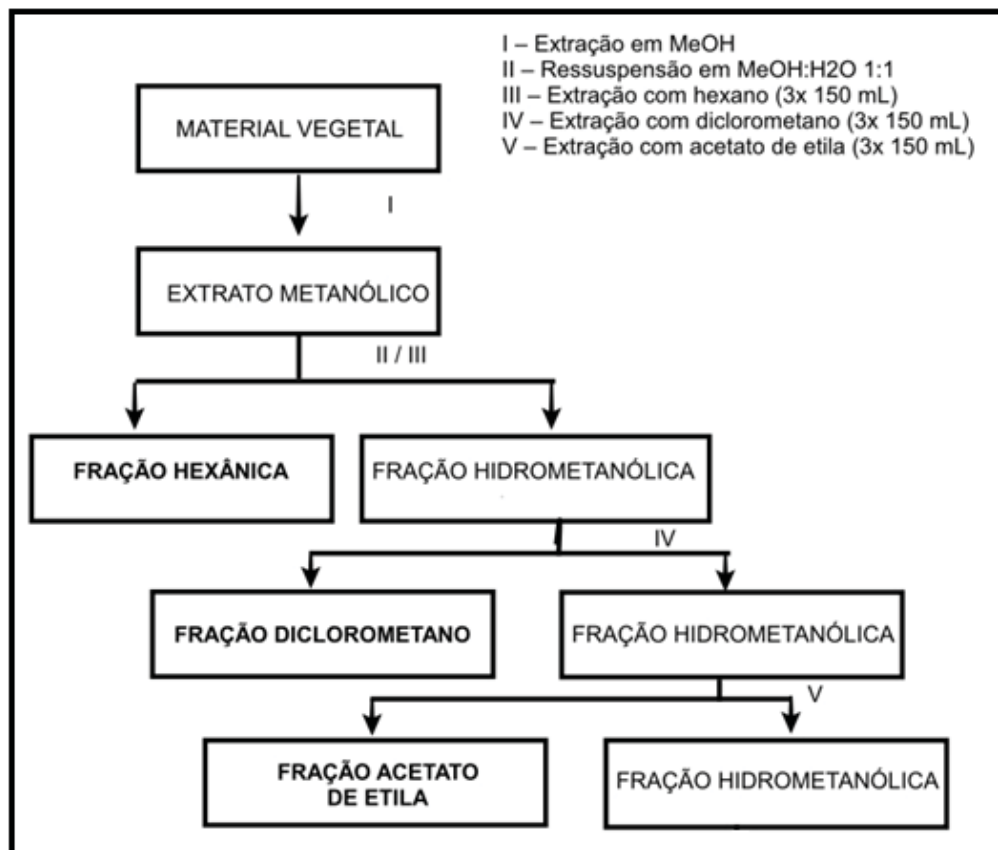
extrato bruto metanólico, que foi disposto em béqueres de vidro sob refrigeração a 4°C para uso posterior.

4.3 OBTENÇÃO DAS FRAÇÕES ORGÂNICAS

Cada extrato bruto metanólico foi solubilizado em metanol-água na proporção 1:1 (600 mL) e submetido à partição de cada um dos solventes orgânicos (sendo três vezes de 150 mL) em ordem crescente de polaridade: hexano, diclorometano e acetato de etila.

Após a partição, os solventes foram removidos com auxílio do evaporador rotativo, a fim de se obter as frações: hexânica, diclorometano, acetato de etila e hidrometanólica (FIGURA 8).

FIGURA 8 - ESQUEMA DE FRACIONAMENTO DO EXTRATO BRUTO METANÓLICO POR PARTIÇÃO EM SOLVENTES



FONTE: Adaptado de RICARDO *et al.* (2018).

4.4 AVALIAÇÃO DA FITOTOXIDEZ

Foram utilizadas sementes de *B. pilosa* L. e *E. heterophylla* L. compradas de um fornecedor comercial (Cosmos Agrícola Produtos e Serviços Rurais Ltda, Brasil) e armazenadas na geladeira. Para avaliar o potencial de inibição da germinação e crescimento inicial de plântulas dessas espécies daninhas, foi preparada uma solução de concentração de 500 ppm de cada tratamento.

Para obter esta concentração, pesou-se separadamente, 25 mg de cada extrato e fração em um béquer e o mesmo foi solubilizado em 25 mL de metanol com auxílio de bastão de vidro. Foram distribuídos 5 mL para cada repetição (caixa gerbox), totalizando 5 repetições por tratamento.

A partir desses tratamentos, foram montados quatro ensaios:

Ensaio I: Avaliação dos extratos e frações de cúrcuma a 500 ppm sobre sementes de amendoim-bravo.

Ensaio II: Avaliação dos extratos e frações de cúrcuma a 500 ppm sobre sementes de picão-preto.

Ensaio III: Avaliação dos extratos e frações de gengibre a 500 ppm sobre sementes de amendoim-bravo.

Ensaio IV: Avaliação dos extratos e frações de gengibre a 500 ppm sobre as sementes de picão-preto.

Cada ensaio foi conduzido em caixas de acrílico transparentes tipo gerbox (11x11cm). Desta forma, foram sete tratamentos: testemunha com água destilada, testemunha com metanol, extrato bruto, fração acetato de etila, fração hexânica, fração diclorometano e fração hidrometanólica, cada um com cinco repetições, em cada caixa gerbox foram distribuídas 50 sementes, sendo essa a unidade experimental.

Após higienizadas com álcool 70%, cada caixa gerbox foi identificada, e recebeu duas folhas de papel germitest (10,5 cm x 10,5 cm e gramatura 65 g/m²). Cada germitest foi umedecido com 5 mL de seu respectivo tratamento, sendo que a testemunha com metanol, recebeu apenas 5 mL de metanol.

As caixas gerbox permaneceram abertas em temperatura ambiente por 24 horas para que ocorresse a evaporação do metanol. Em seguida, as sementes foram

distribuídas junto a 10 mL de água. Após fechadas, as caixas foram envoltas por plástico filme, para manter a umidade adequada durante o teste, e todas foram incubadas em câmara de germinação tipo B.O.D. por 96 horas, seguindo um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC).

Nos ensaios que envolviam amendoim-bravo (I e III), a B.O.D foi regulada para um fotoperíodo de 12 horas, com temperatura constante em 25°C. Por outro lado, nos ensaios com picão-preto (II e IV), a B.O.D foi regulada para um fotoperíodo de 8 horas de luz a 30°C e 16 horas de escuro a 20°C.

Foram consideradas germinadas as sementes com protrusão radicular a partir de 2 mm. Em cada ensaio, foi feita a contagem de sementes germinadas diariamente durante as 96 horas para se obter os dados de Índice de Velocidade de Germinação (IVG) (MAGUIRE, 1962), calculados conforme a fórmula:

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n}$$

Onde:

IVG = Índice de Velocidade de Germinação;

G_1, G_2, \dots, G_n = número de sementes germinadas a cada dia;

N_1, N_2, \dots, N_n = número de dias desde o início do teste.

A Porcentagem de Germinação (%) foi mensurada pela fórmula proposta nas Regras de Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 1992), através da razão entre o número de sementes germinadas e o total de sementes em cada caixa, calculada pela fórmula:

$$\%G = \left(\frac{N}{100} \right) \cdot 100$$

Em que: N = número de sementes germinadas ao final do teste.

Após as 96 horas de experimento, as plântulas formadas foram retiradas para avaliação do seu crescimento através dos parâmetros: comprimento de hipocótilo, comprimento da raiz primária e massa fresca e seca da plântula.

As variáveis de comprimento foram mensuradas com auxílio de uma régua milimetrada. Para determinação da massa fresca das plântulas, foram confeccionados para cada gerbox, recipientes a partir de 10x10cm de papel alumínio, cuja massa foi

aferida em balança analítica e depois foi disposto sobre eles total as plântulas germinadas em cada gerbox e aferida a massa fresca. Foi feito o cálculo da média de massa fresca, em gramas, de cada repetição, o valor total da massa anotada pela quantidade de plântulas germinadas da amostra.

Na análise da massa seca, todos os recipientes de alumínio contendo as plântulas germinadas foram levados para uma estufa com circulação de ar em 60°C por 48 horas. Após esse período, foram colocados em dessecador por 24 horas, e então suas massas secas, expressas em gramas foram aferidas em balança analítica.

Os dados de índice de velocidade de germinação, porcentagem de germinação, comprimento de raiz primária, comprimento de hipocótilo, massa fresca e massa seca por plântula foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação dos tratamentos através do software Sisvar (FERREIRA, 2014).

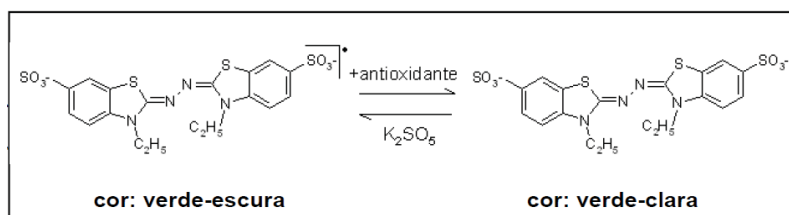
4.5 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os métodos disponíveis para analisar a capacidade antioxidante são diversos, com fundamentos, modos de ação e expressão de resultados também diversos. Neste trabalho foram utilizados dois métodos: ABTS e DPPH. No método ABTS^{o+} seguiu-se a metodologia de Rufino *et al.* (2007), utilizando curva de calibração de Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico) de 2,0 a 0,1 mM e no método DPPH seguiu-se a metodologia de Brand-Williams *et al.* (1995), utilizando curva de calibração de Trolox de 1,0 a 8,0 mM, respectivamente. Ambos os resultados foram expressos em µM de Trolox por grama de extrato.

No método ABTS é avaliada a capacidade de captura do radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) conhecido como ABTS, de excelente estabilidade e de coloração esverdeada. Na presença de antioxidantes, ocorre sua redução, apresentando descoloração (FIGURA 9).

Há especificidades nos métodos de análises, sendo em ABTS possível medir compostos tanto de natureza lipofílica quanto hidrofílica, outra vantagem, uma vez que os extratos e frações são extraídos com solventes de diferentes polaridades. Pelo método DPPH, entretanto, não é possível identificar compostos hidrofílicos (KUSKOSKI *et al.*, 2005).

FIGURA 9 - ESTABILIZAÇÃO DO RADICAL ABTS^{•+} POR UM ANTIOXIDANTE E SUA FORMAÇÃO PELO PERSULFATO DE POTÁSSIO



FONTE: Rufino *et al.* (2007).

Para o preparo da solução estoque de ABTS (7 mM), 192 mg de ABTS foram dissolvidos em água destilada em um balão volumétrico de 50 mL, completando até o menisco, homogeneizando e transferindo a solução um frasco de vidro âmbar.

A solução de persulfato de potássio (140 mM) foi preparada dissolvendo-se 378,40 mg de persulfato de potássio em um balão volumétrico de 10 mL, completando até o menisco, homogeneizando e transferindo a solução para um frasco de vidro âmbar ao abrigo da luz.

A partir da reação de 5 mL da solução estoque de ABTS juntamente com 88 µL da solução de persulfato de potássio foi preparado o radical ABTS^{•+}. A mistura foi então mantida em um frasco de vidro âmbar e em temperatura ambiente por 16 horas. Após este período, diluiu-se 1 mL desta mistura (cátion ABTS) em álcool etílico a um comprimento de onda de 734 nm.

Uma solução padrão trolox (2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid) a 2000 µM foi preparada para realizar a curva padrão, dissolvendo-se 25 mg de trolox em álcool etílico e completando o volume em um balão volumétrico de 50 mL. A solução foi homogeneizada e mantida em um frasco de vidro âmbar.

Foram preparadas, a partir da solução padrão de trolox, soluções variando a concentração de 100 µM a 1500 µM (TABELA 1), em balões volumétricos de 10 mL.

TABELA 1 - PREPARO DAS SOLUÇÕES PARA CURVA PADRÃO

Solução Padrão de Trolox (mL)	Álcool etílico (mL)	Concentração final (µM)
0,5	9,5	100
2,5	7,5	500
5,0	5,0	1000
7,5	2,5	1500
10,0	0	2000

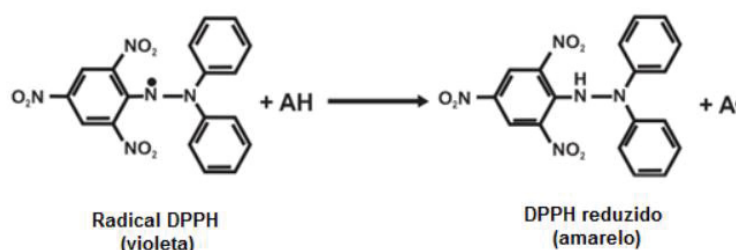
FONTE: RUFINO *et al.* (2007)

Para a determinação da curva padrão, transferiu-se uma alíquota de 30 μL de cada solução de trolox (100, 500, 1000, 1500 e 2000 μM) para cubetas e em seguida adicionou-se 3 mL da solução do radical ABTS+. Após seis minutos realizou-se a leitura em espectrofotômetro em 734 nm. A análise foi realizada em triplicata.

No método DPPH, é avaliado a capacidade de sequestrar o radical livre 1,1 difenil 2 picril-hidrazil, seguindo a metodologia de Brand-Williams *et al.* (1995). O DPPH apresenta coloração púrpura, e é reduzido na presença de antioxidantes e sua coloração se torna amarela (FIGURA 10). Além de sua estabilidade como radical, sua disponibilidade comercial é uma vantagem, pois não precisa ser gerado antes da análise.

Após cada amostra reagir com o DPPH por 30 minutos ao abrigo da luz, estas foram lidas a 515 nm de absorvância. Todo teste foi preparado em triplicata.

FIGURA 10 - REAÇÃO DO DPPH EM CONTATO COM O ANTIOXIDANTE



FONTE: Adaptado de BLOIS (1958) e MOLYNEUX (2004).

4.6 IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA DE CLASSES DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS

A técnica utilizada para identificar os grupos de metabólitos secundários presentes nos extratos e frações, foi a Cromatografia em Camada Delgada (CCD), que recebe este nome por envolver a separação dos componentes de uma mistura sólido-líquido, havendo a migração da fase líquida (móvel) sobre uma camada delgada de adsorvente, fase sólida (estacionária). A característica versátil desta técnica se justifica por ser rápida, demandar pequena quantidade de solventes e reagentes e permitir a comparação dos resultados de forma clara (LOPES, 2006).

O procedimento envolve então, a aplicação das amostras na base de uma cromatoplaça, que por sua vez é disposta em uma cuba contendo fase móvel. De

acordo com a capacidade dos compostos da amostra se dissolverem na fase móvel, estes podem migrar por capilaridade sob a fase estacionária em diferentes velocidades, ou ficarem retidos pela fase estacionária, podendo resultar em manchas nitidamente diferentes, o que é explicado pela estrutura química dos compostos presentes na amostra. Ao fim da corrida cromatográfica, a cromatoplaça é retirada da cuba e exposta a soluções reveladoras, observadas a luz visível ou ultravioleta, com o objetivo de indicar a presença de diferentes grupos funcionais (LOPES, 2006; VOGEL, 2011).

Neste estudo, inicialmente foram pesados 50 µg de cada um dos extratos e frações, que foram dissolvidos em 500 µL do solvente utilizado para a extração. As cromatoplaças utilizadas eram constituídas de sílica gel com indicador fluorescente e tamanho médio de poro 60 Å, medindo 7 cm de altura e 5 cm de largura. Antes de aplicar os extratos, foram demarcados a lápis quatro *spots* (pontos) com distâncias de 1 cm entre si e 1 cm das bordas da placa, para então ser feita a aplicação dos extratos utilizando um capilar de vidro.

Na cuba cromatográfica contendo a fase móvel foram dispostas verticalmente as cromatoplaças. Uma vez que os solventes de extração dos extratos e frações possuíam grande diferença de polaridade, diferentes fases móveis precisaram ser preparadas, sendo acetona: etanol (1:1) para as frações hidrometanólica, acetato: acetona (1:1) para as frações diclorometano, acetato: hexano (9:1) para as frações acetato de etila, acetato: hexano (1:1) para as frações hexânica.

Os extratos brutos extraídos em metanol foram corridos em todas as placas. Foi monitorada a corrida cromatográfica de modo que a fase móvel não ultrapasse 6 cm, após cada placa ser retirada da cuba, foi esperado por alguns minutos a evaporação dos solventes para aplicar os reveladores (TABELA 2).

TABELA 2 - REVELADORES UTILIZADOS NA CROMATOGRAFIA POR CAMADA DELGADA

Grupo de moléculas	Solução reveladora	Coloração das manchas	Luz utilizada
Alcaloides	Reagente de Dragendorff	Alaranjada	Visível
Antraquinonas	Hidróxido de potássio 5% (m/v) em etanol	Vermelha	Visível
Compostos orgânicos insaturados	Vapor de iodo	Marrom	Visível
Cumarinas	Cloreto férrico 2% (m/v)	Azuis/verdes	Ultravioleta
Esteroides/ Terpenos	Anisaldeído Sulfúrico	Rosas/violáceas	Visível
Flavonoides	Cloreto férrico 2% (m/v)	Amarelas	Ultravioleta
Taninos	Hidróxido de potássio 1% em etanol	Verdes- taninos condensados Azuis- taninos hidrolisáveis Marrons- compostos fenólicos	Ultravioleta

FONTE: Adaptada de SWIECH (2018) e NEGRI; DUARTE-ALMEIDA (2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE FITOTÓXICA

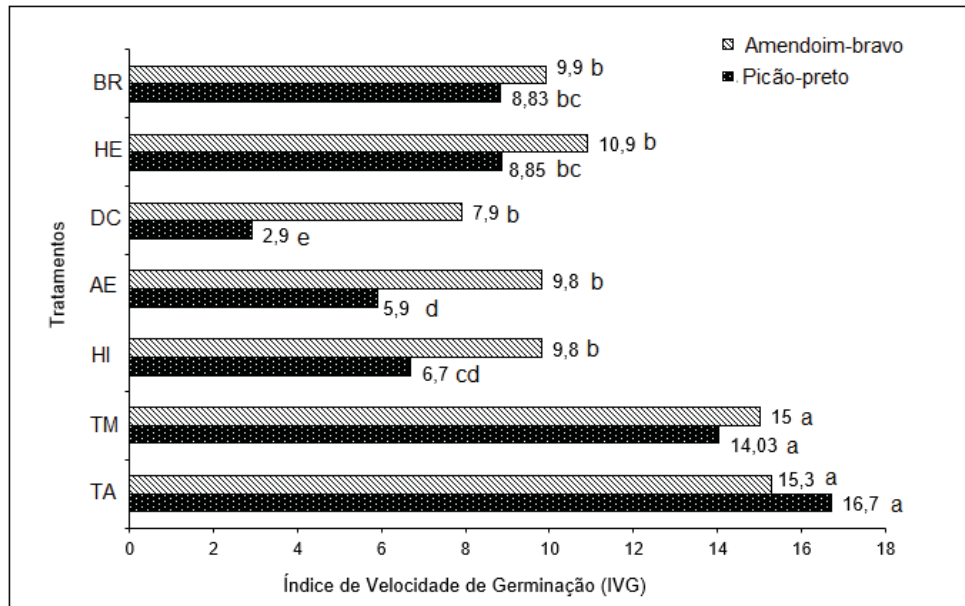
Foram realizados quatro ensaios para avaliar o potencial fitotóxico das folhas de cúrcuma e gengibre sobre as sementes e plântulas de amendoim-bravo e picão-preto, como mencionado no item 4.4, a fim de observar a ação de cada planta medicinal sobre cada planta daninha em questão. A inibição da germinação e do crescimento foi analisada pelas variáveis comumente utilizadas nos estudos em alelopatia e fitotoxidez: porcentagem de germinação; índice de velocidade de germinação; crescimento de parte aérea e raiz além da massa fresca e seca das plântulas (FERREIRA; BORGUETTI, 2004).

Durante as avaliações diárias de germinação, diferenças entre os tratamentos foram observadas já nas primeiras 24 horas, sendo comprovada ao final, a diferença estatística entre as testemunhas e os tratamentos, tendo os extratos e frações de ambas as plantas medicinais afetado esta variável nas plantas daninhas (GRÁFICOS 1 e 2).

Em todos os ensaios realizados, as variáveis de germinação (IVG e %G) foram mais prejudicadas pelas frações diclorometano e acetato de etila. Analisando o potencial fitotóxico das folhas de cúrcuma, observou-se maior efeito inibitório sobre o IVG de ambas as plantas daninhas, quando submetidas à fração diclorometano (reduzindo em 82,7 % o IVG de picão-preto e 48,4% de amendoim-bravo) e acetato de etila (reduzindo em 64,7% o IVG de picão-preto e 36% de amendoim-bravo).

Resultados similares foram observados nos tratamentos com folhas de gengibre, sendo o maior atraso na germinação de ambas as plantas daninhas, também nas frações diclorometano e acetato de etila, apresentando os menores índices, iguais estatisticamente entre si (GRÁFICO 2). A fração diclorometano reduziu em 57,8% a velocidade de germinação de picão-preto e 32,8% de amendoim-bravo. Por outro lado, a fração acetato de etila reduziu em 45% o IVG picão-preto e 35,2 % em amendoim-bravo.

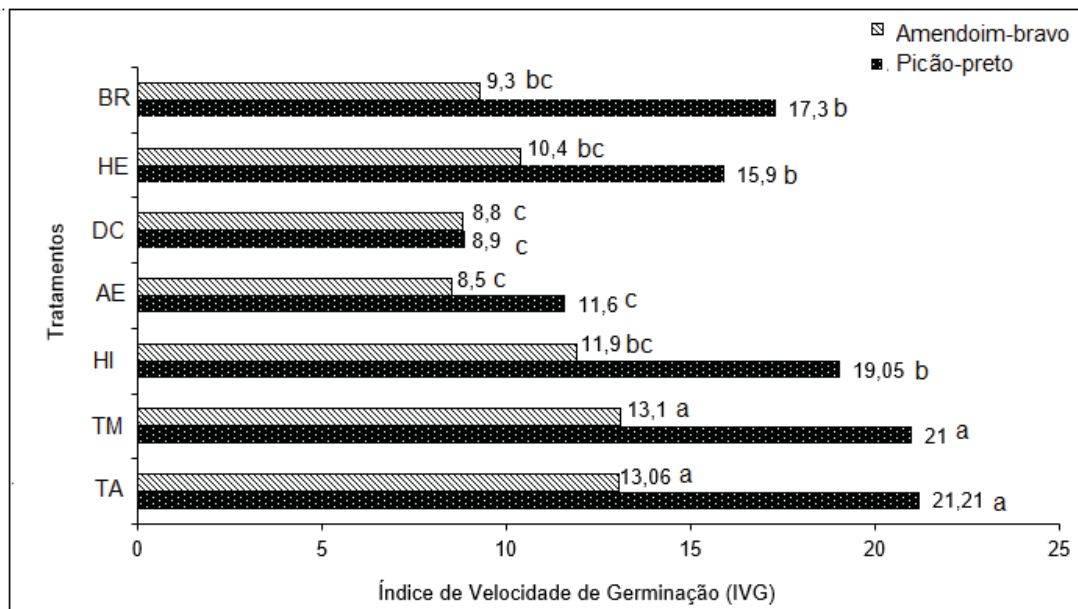
GRÁFICO 1 – ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE SEMENTES DE AMENDOIM-BRAVO E PICÃO-PRETO SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS COM CÚRCUMA



LEGENDA: TA: Testemunha com água; TM: Testemunha com metanol; HI: Fração Hidrometanólica; AE: Fração Acetato de etila; DC: Fração Diclorometano; HE: Fração Hexânica; BR: Extrato Bruto. Letras diferentes representam diferença estatística pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2021).

GRÁFICO 2 – ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE SEMENTES DE AMENDOIM-BRAVO E PICÃO-PRETO SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS COM GENGIBRE

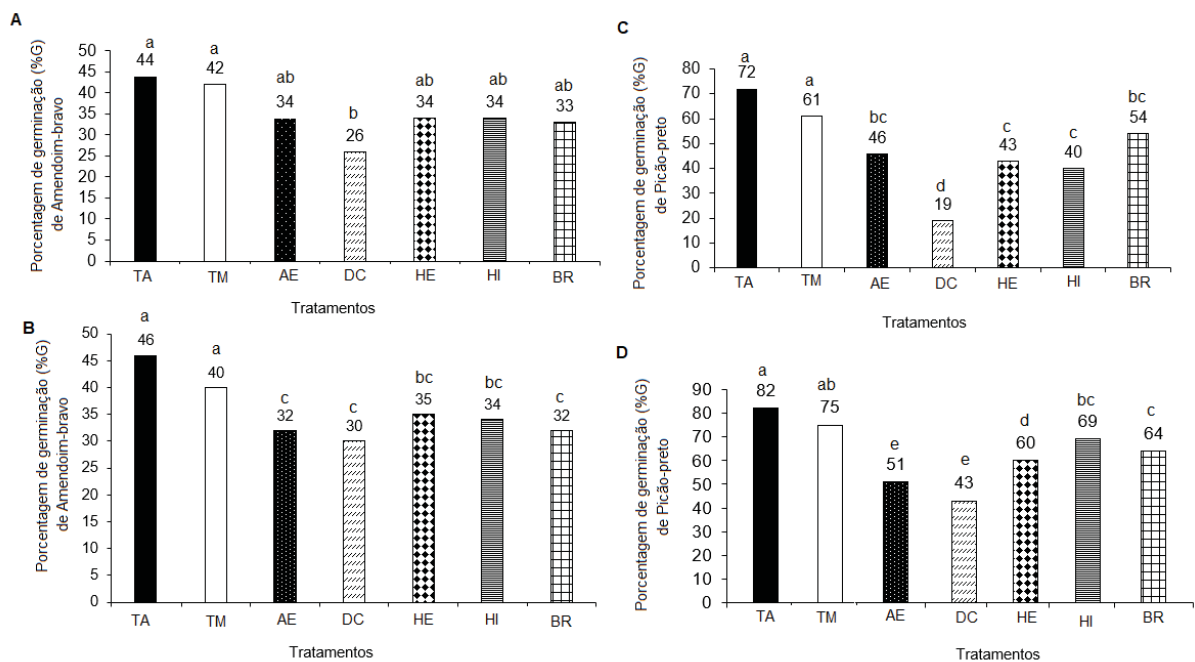


EGENDA: TA: Testemunha com água; TM: Testemunha com metanol; HI: Fração Hidrometanólica; AE: Fração Acetato de etila; DC: Fração Diclorometano; HE: Fração Hexânica; BR: Extrato Bruto. Letras diferentes representam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2021).

Nenhum extrato ou fração estimulou a germinação das sementes, isto é perceptível ao analisar o Gráfico 3, onde nenhuma porcentagem dos tratamentos foi superior às testemunhas. Novamente, a fração diclorometano foi a que mais reduziu o percentual de germinação das sementes nas duas espécies testadas. De modo similar à variável comentada anteriormente, em relação à testemunha, a porcentagem de germinação em amendoim-bravo foi reduzida a 41% e em picão-preto foi reduzida a 73%, quando submetidas a fração diclorometano das folhas de cúrcuma. É válido destacar que as frações hexânica, acetato de etila e hidrometanólica também reduziram significativamente o percentual de germinação das duas plantas daninhas, ocorrendo de forma mais acentuada em picão-preto.

GRÁFICO 3 – PORCENTAGEM DE GERMINAÇÃO (%G) DAS SEMENTES DE AMENDOIM-BRAVO E PICÃO-PRETO



LEGENDA: Gráficos 3A e 3C: extratos de cúrcuma; gráficos 3B e 3D: extratos de gengibre. TA: Testemunha com água; TM: Testemunha com metanol; AE: Fração Acetato de etila; DC: Fração Diclorometano; HE: Fração Hexânica; HI: Fração Hidrometanólica; BR: Extrato Bruto. Letras diferentes representam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

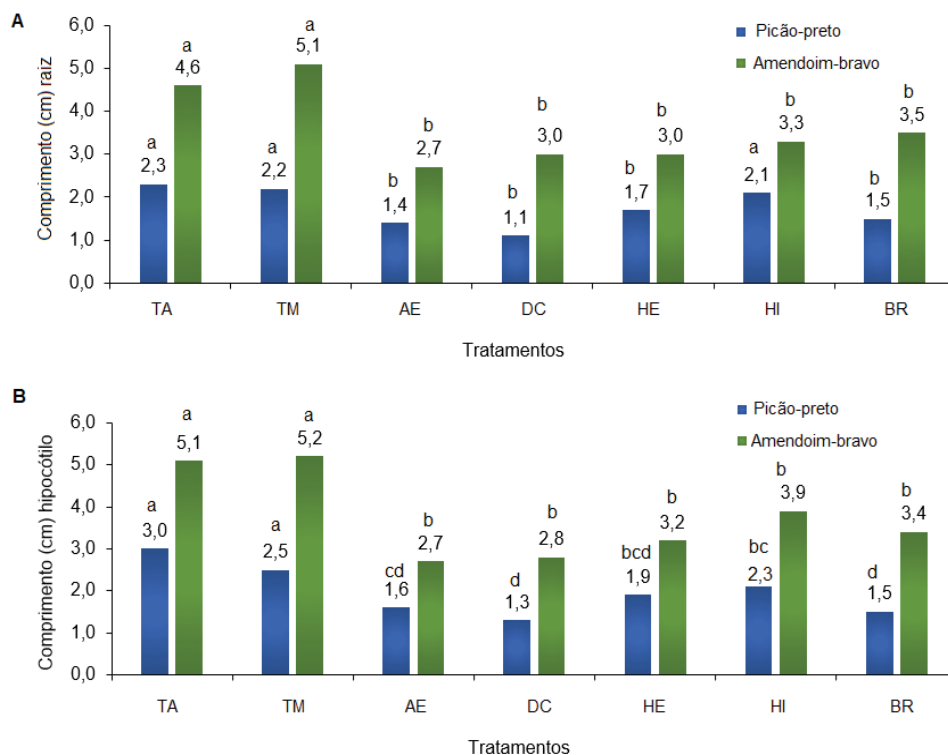
FONTE: A autora (2021)

As frações diclorometano e acetato de etila das folhas de gengibre foram as que mais inibiram a germinação das sementes, apresentando-se iguais estatisticamente. Houve atraso de germinação das sementes de picão-preto em comparação com as testemunhas, com redução de 47,9% do IVG na fração diclorometano e 38,1% na fração acetato de etila. No ensaio com amendoim-bravo a

fração diclorometano reduziu a germinação em 34,3% e a acetato de etila reduziu em 30,7%.

Em relação ao crescimento pós-germinativo das plântulas submetidas à extratos e frações de cúrcuma (GRÁFICO 4) todos os tratamentos afetaram igualmente a raiz e o hipocótilo de amendoim-bravo, diferenciando estatisticamente apenas das testemunhas. Houve uma redução de tamanho da raiz de até 41,4% e de hipocótilo de até 47,1% quando as sementes foram submetidas a fração acetato de etila. Entretanto, para o crescimento de raiz de picão-preto, a fração hidrometanólica ficou igual às testemunhas e todos os outros tratamentos afetaram igualmente esta variável, com uma redução de 52,2% na fração diclorometano. O tamanho do hipocótilo foi mais prejudicado pelas frações diclorometano e extrato bruto, seguido de acetato de etila, com redução de 56,7%, 50% e 46,7%, respectivamente.

GRÁFICO 4 - CRESCIMENTO INICIAL DAS PLÂNTULAS DE PICÃO-PRETO E AMENDOIM-BRAVO SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS COM CÚRCUMA



LEGENDA: Gráfico 4A: Comprimento da raiz; Gráfico 4B: Comprimento do hipocótilo. TA: Testemunha com água; TM: Testemunha com metanol; AE: Fração Acetato de etila; DC: Fração Diclorometano; HE: Fração Hexânica; HI: Fração Hidrometanólica; BR: Extrato Bruto. Letras diferentes representam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

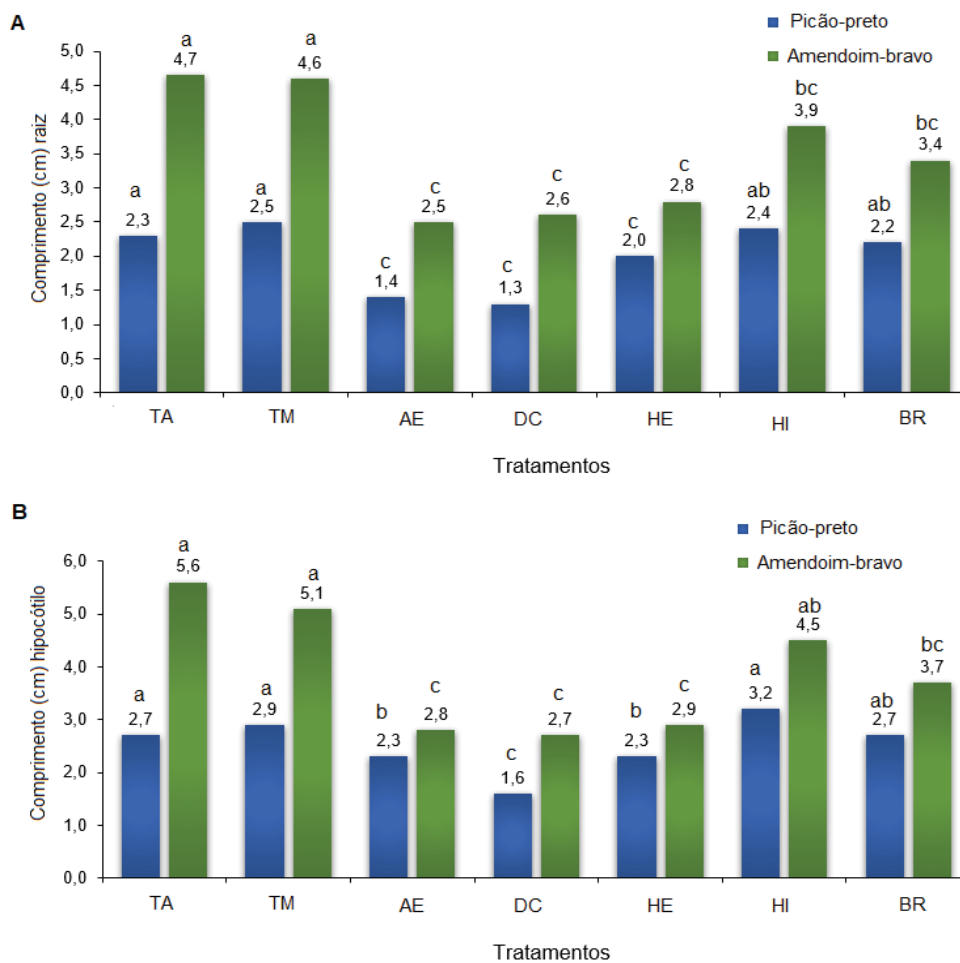
FONTE: A autora (2021).

Sementes de picão-preto submetidas a fração diclorometano de gengibre (GRÁFICO 5), sofreram redução de 43,5% do crescimento da raiz e 40,7% do

hipocótilo. Ao analisar as plântulas germinadas de amendoim-bravo, percebe-se que os maiores efeitos inibitórios sob o hipocótilo ocorreram nas frações diclorometano, acetato de etila e hexânica, reduzindo em 51,7%, 50% e 48,2%, respectivamente. A raiz sofreu maior redução (46,8%) pela fração acetato de etila.

Assim como no comprimento, as variáveis massa fresca e seca das plântulas de ambas as espécies apresentaram menores valores nos tratamentos fração diclorometano e acetato de etila.

GRÁFICO 5 - CRESCIMENTO INICIAL DAS PLÂNTULAS DE PICÃO-PRETO E AMENDOIM-BRAVO SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS COM GENGIBRE



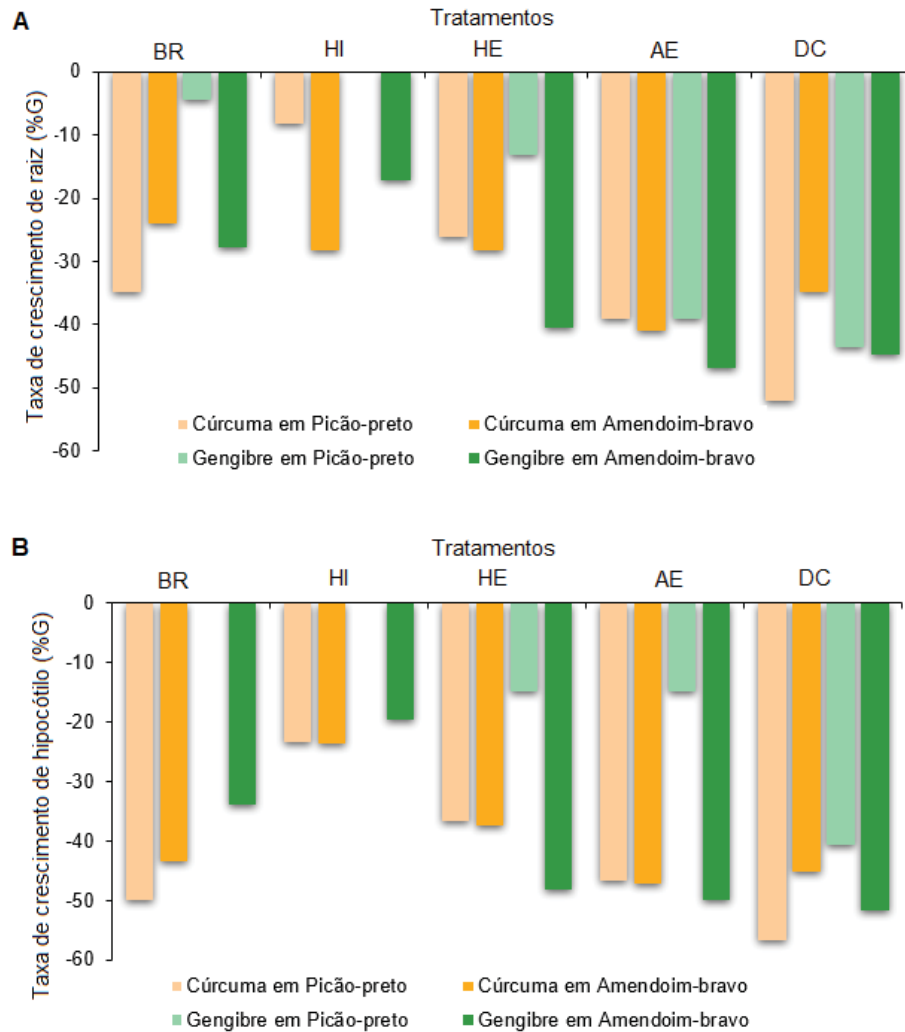
LEGENDA: Gráfico 5A: Comprimento da raiz; Gráfico 5B: Comprimento do hipocótilo. TA: Testemunha com água; TM: Testemunha com metanol; AE: Fração Acetato de etila; DC: Fração Diclorometano; HE: Fração Hexânica; HI: Fração Hidrometanólica; BR: Extrato Bruto. Letras diferentes representam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2021).

Para facilitar a comparação dos resultados obtidos nas variáveis de crescimento, as reduções de comprimento estão apresentadas no Gráfico 6,

especificadas em A, porcentagem da redução do comprimento da raiz primária e em B, do hipocótilo.

GRÁFICO 6 - TAXA DE CRESCIMENTO DAS PLÂNTULAS DE PICÃO-PRETO E AMENDOIM-BRAVO



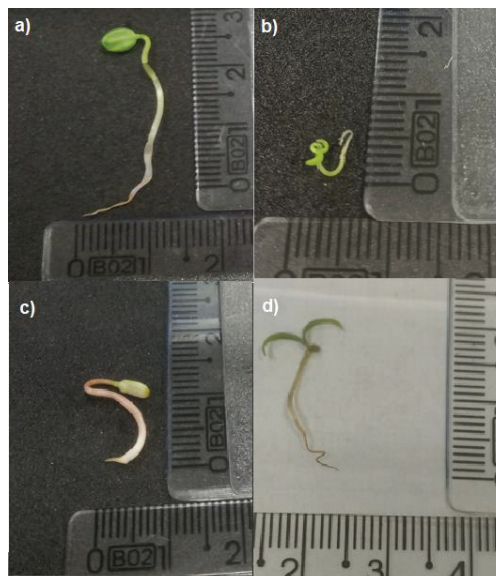
LEGENDA: Gráfico 6A: Taxa de crescimento da raiz; Gráfico 6B: Taxa de crescimento do hipocótilo. BR: Extrato Bruto; HI: Fração Hidrometanólica; HE: Fração Hexânica; AE: Fração Acetato de etila; DC: Fração Diclorometano. FONTE: A autora (2021).

Neste estudo foram identificadas plântulas com desenvolvimento anormal (FIGURA 11), apresentando atrofiamento, escurecimento e em alguns casos queima da raiz primária, além do encurvamento da parte aérea, o que pode resultar em menor potencial de competição com as plantas cultivadas, pensando em um cenário ecológico. Todos os tratamentos tanto de cúrcuma quanto de gengibre, apresentaram plântulas anormais, expressos de forma semelhante nas duas espécies, tendo maior intensidade nas frações diclorometano, acetato de etila e hexânica. Magiero *et al.*

(2009), também observaram em seu estudo sobre o efeito alelopático de *Artemisia annua* L. radículas danificadas em plântulas de amendoim-bravo, com poucos pelos e todos atrofiados, além da má formação do hipocótilo.

Na literatura o crescimento da radícula é considerado indicador de fitotoxidez (REIGOSA *et al.*, 2013). Compostos alelopáticos podem afetar divisões celulares na formação do câmbio e vasos condutores, a permeabilidade de membranas e a ativação de enzimas, por exemplo. Ao ser afetada a mobilização de reservas nutritivas do endosperma para o embrião, prejudica o sucesso da emissão do eixo radícula-hipocótilo (CARVALHO *et al.*, 2014).

FIGURA 11 - REGISTROS DE ANORMALIDADES NAS PLÂNTULAS DE AMENDOIM-BRAVO E PICÃO-PRETO



LEGENDA: a) Fração acetato de etila de cúrcuma no ensaio I; b) Fração diclorometano de cúrcuma no ensaio II; c) Fração diclorometano de gengibre no ensaio III; d) Fração diclorometano de gengibre no ensaio IV. FONTE: A autora (2021).

Geralmente, há evidências de fitotoxidez na porcentagem de germinação das sementes, entretanto, há alguns casos em que se manifesta apenas sobre o índice de velocidade de germinação, sendo uma variável mais sensível, de modo que compostos fitotóxicos mesmo em baixas concentrações podem influenciá-la até o ponto de inibi-la. Aplicando estes fatos em cenários ecológicos, o lento crescimento em relação as demais plantas pode resultar em menor chance de sobrevivência frente a uma competição (FERREIRA; AQUILA, 2000). Em virtude disto, pesquisas de investigação para potenciais bioherbicidas, costumam atribuir ao resultado obtido no IVG um peso considerável, assumindo estreita relação entre altos valores de IVG e

alta taxa de sementes vigorosas (FERREIRA; BORGUETTI, 2004). Os dados obtidos no IVG e %G no presente estudo comprovam atividade fitotóxica das frações diclorometano e acetato de etila de folhas de cúrcuma e gengibre a 500 ppm.

De forma nítida, a fração que apresentou maior fitotoxidez sobre as daninhas em estudo, foi a diclorometano, seguida de acetato de etila, indicando a possibilidade de os compostos ativos serem de natureza lipofílica. Mantovanelli *et al.* (2017) também destacam as frações diclorometano e acetato de etila como as mais efetivas, com potencial atividade herbicida sobre sementes de *Bidens pilosa* e *Amaranthus hybridus*.

Pesquisas no campo de fitotoxidez de cúrcuma ainda são bastante escassas. O trabalho de Akter *et al.* (2018) relata que os componentes bioativos dihidrobisdemetoxicurcumina, bisdemetoxicurcumina, demetoxicurcumina e curcumina obtidos de um extrato metanólico de cúrcuma, inibiram a germinação de picão-preto.

Há diversas pesquisas investigando o potencial alelopático de gengibre com metodologias variadas, seja envolvendo análises do óleo essencial, seja extratos por solventes orgânicos ou aquosos, mas todas analisando apenas o rizoma da planta. Cardoso *et al.* (2017), por exemplo, analisaram efeitos de diferentes concentrações de extratos aquosos do rizoma de gengibre por infusão e por decocção, sobre a germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.). Apesar de não inibirem de forma significativa a porcentagem de germinação, o IVG sofreu alteração a partir de 6,25 mg mL⁻¹, e sofreu a maior inibição em 100 mg mL⁻¹. O decocto foi o tipo de extrato que mais reduziu a velocidade de germinação, consequentemente aumentando o tempo de germinação em aproximadamente 52%, já o infuso aumentou em 48%. Assim, os autores sugerem maior eficiência na extração de aleloquímicos dessa espécie pelo método de fervura do rizoma.

Após extrair por hidrodestilação o óleo essencial dos rizomas de gengibre, Bonavigo (2021) analisou o efeito bioherbicida sobre nabo e azevém, e relatou que com o aumento da dose do óleo essencial, houve maior inibição da germinação e crescimento de plântulas do nabo, sendo que a dose máxima (25 ml L⁻¹) reduziu a velocidade de germinação em até 96,33%. Já em relação ao azevém, independentemente da dose, o óleo essencial inibiu significativamente a germinação. Desde a menor dose de óleo essencial (5 ml L⁻¹) houve inibição do desenvolvimento da parte aérea e radicular do azevém. A variável porcentagem de plântulas anormais

das espécies testadas obteve valores baixos, afinal o óleo essencial causou efeitos tão intensos que inviabilizou o desenvolvimento pós embrionário do embrião das sementes, e mesmo as que foram constatadas emergência, não houve desenvolvimento, sequer anormal (BONAVIGO, 2021).

De modo semelhante à pesquisa de Bonavigo (2021), ao comparar concentrações diferentes de extratos aquosos do rizoma de gengibre e tempos de preparo pela técnica infusão, Defaveri (2018) constatou que a concentração que apresentou melhores resultados de redução do IVG tanto de nabo, quanto de azevém e picão-preto foi a 5%. Conforme aumentou-se o tempo de infusão, aumentou o percentual de germinação de nabo. Ao aplicar no azevém, o autor relatou maior redução do percentual conforme aumentou-se as concentrações de extrato. Já em picão-preto, independentemente do tempo de infusão, o percentual de germinação sofreu maior redução a 5% e o crescimento das plântulas que germinaram foi mais afetado pela concentração 2,5%.

Também analisando extratos aquosos do rizoma de gengibre em diversas concentrações (de 0,25% a 1%), Morais *et al.* (2021) apontam relação entre o aumento da concentração do extrato e o aumento da fitotoxidez sobre sementes de capim-amargoso (*Digitaria insularis*), com lento e diminuído percentual de germinação, sugerem assim, estudos deste extrato para controle pré-emergente de plantas daninhas.

Ibáñez e Blázquez (2019), investigaram as composições químicas dos óleos essenciais de gengibre e cúrcuma e a atividade fitotóxica destes nas plantas daninhas *Portulaca oleracea*, *Lolium multiflorum*, *Echinochloa crus-galli*, *Cortaderia selloana*, *Nicotiana glauca* e em culturas de tomate, pepino e arroz. Os autores constataram que o óleo essencial de gengibre possui alta quantidade de hidrocarbonetos sesquiterpênicos α -zingibereno, β -sesquiphelladrene, α -curcumene, e β -bisabolene, podendo ser aplicado como bioherbicida pré-emergente em *P. oleracea* e *L. multiflorum*, uma vez que reduziu seu percentual de germinação. Além disso, na dose mais elevada, o óleo essencial de gengibre inibiu significativamente o desenvolvimento hipocótilo de *P. oleracea*, *L. multiflorum*, *C. selloana*, e *N. glauca*. e o desenvolvimento da radícula em todas as espécies daninhas. Os autores relatam que não houve interferência das plantas cultivadas de modo geral, somente no desenvolvimento da radícula e do hipocótilo de tomate.

O óleo essencial de cúrcuma, possui, por sua vez, sesquiterpenos oxigenados como ar-turmerona, β -turmerona e α -turmerona, e os autores defendem que pode ser uma alternativa promissora de controle de daninhas, especialmente de *C. selloana*, pois na dose mais elevada, inibiu em 81,71% a germinação das sementes. O óleo também inibiu significativamente o crescimento da radícula e do hipocótilo de todas as espécies daninhas, exceto de *P. oleracea*, e não afetou nenhuma variável analisada nas plantas cultivadas. Os autores defendem a necessidade de testes com outras plantas daninhas e com outras doses principalmente do óleo essencial de cúrcuma (IBÁNEZ; BLÁZQUEZ, 2019).

Inúmeros estudos na área da alelopatia e fitotoxidez são realizados com plantas teste como alface (*Lactuca sativa* L.) e daninhas como picão-preto e amendoim-bravo, por exemplo, seja pela sensibilidade a testes ou pela importância econômica.

Foram encontrados na literatura alguns trabalhos envolvendo as mesmas plantas daninhas que o presente estudo, compartilhando de resultados semelhantes, em que as frações diclorometano, acetato de etila e/ou hexânica de algum extrato vegetal inibiram a germinação e/ou o crescimento inicial, por exemplo: Matsumotto *et al.* (2010), Inoue *et al.* (2010), Habermann *et al.* (2015), Mantovanelli *et al.* (2017), Favaretto (2018), Gomes *et al.* (2019), Fioresi *et al.* (2021).

5.2 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os resultados obtidos para a avaliação da atividade antioxidante pelos métodos de DPPH e ABTS foram expressos em equivalente Trolox (ET) por grama de extrato ou fração de folhas de cúrcuma e gengibre, e estão apresentados na Tabela 3.

No método de DPPH, as frações acetato de etila de cúrcuma e gengibre apresentaram alta atividade antioxidante comparado às outras frações, avaliadas com valores de 752,18 e 393,32 μM ET/g de extrato, respectivamente. Além disso, os resultados obtidos indicaram um maior potencial antioxidante da espécie de cúrcuma comparada ao gengibre.

Pelo método de ABTS, observou-se maior atividade antioxidante para as frações diclorometano (935,54 e 704,31 μM ET/g de cúrcuma e gengibre, respectivamente), seguidos da fração acetato de etila (393,23 e 607,77 μM ET/g de cúrcuma e gengibre, respectivamente).

TABELA 3 - MÉDIAS OBTIDAS PARA A DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELOS MÉTODOS DE DPPH E ABTS PARA OS EXTRATOS E FRAÇÕES DE CÚRCUMA E GENGIBRE

Amostras	DPPH ($\mu\text{M Trolox/g}$) \pm DP	ABTS ($\mu\text{M Trolox/g}$) \pm DP
Cúrcuma		
Extrato bruto	394,53 \pm 2,72	211,49 \pm 4,56
Fração hexânica	178,35 \pm 2,67	321,42 \pm 5,96
Fração diclorometano	392,68 \pm 23,66	935,54 \pm 14,03
Fração acetato de etila	752,18 \pm 4,15	393,23 \pm 18,98
Fração hidrometanólica	388,33 \pm 7,87	291,53 \pm 10,63
Gengibre		
Extrato bruto	375,75 \pm 6,21	312,75 \pm 17,01
Fração hexânica	201,10 \pm 5,93	229,88 \pm 11,76
Fração diclorometano	183,97 \pm 2,73	704,31 \pm 16,06
Fração acetato de etila	393,32 \pm 2,34	607,77 \pm 14,84
Fração hidrometanólica	79,23 \pm 1,23	152,40 \pm 8,02

LEGENDA: DP = Desvio padrão. FONTE: A autora (2021).

A fração hidrometanólica do gengibre, apesar de ser a fração mais polar, apresentou a menor capacidade antioxidante entre as frações testadas frente aos métodos de DPPH (79,23 $\mu\text{M ET/g}$) e ABTS (152,40 $\mu\text{M ET/g}$). Este efeito pode estar relacionado ao exaustivo processo de fracionamento do extrato, o qual agrupou uma maior concentração das substâncias com maior potencial antioxidante nas frações anteriores particionadas.

O potencial antioxidante das frações diclorometano e acetato de etila encontrado para as espécies de cúrcuma e gengibre neste trabalho pode ser atribuído pela presença de compostos fenólicos, tais como os ácidos fenólicos, flavonoides e estilbenos, por exemplo, que são metabólitos amplamente encontrados em plantas com atividade antioxidante (OLIVEIRA, CARVALHO; MELO, 2014; JIMENEZ-LOPEZ *et al.*, 2020). Já é comprovado que a curcumina, por exemplo, atua como doador de elétrons, caracterizando sua atividade antioxidante (PRIYADARSINI, 2014).

Entre as plantas analisadas no estudo de Tiveron (2010), a cúrcuma (rizoma) está entre as que apresentou maior atividade antioxidante para o método ABTS (111,8 $\mu\text{M ET/g}$), resultado inferior ao menor valor (211,49 $\mu\text{M ET/g}$) do presente trabalho. Para o método DPPH, a cúrcuma também esteve entre as três plantas com melhores

atividades no EC_{50} , além de apresentar maior quantidade de compostos fenólicos (TIVERON, 2010).

Na pesquisa de Braga, Vieira e Oliveira (2018), que também utilizaram o método DPPH, relatam que tanto as folhas frescas quanto as secas de cúrcuma exibiram atividade antioxidante e defendem a utilização deste resíduo agroindustrial de forma sustentável, por terem bioatividade comprovada e ainda serem descartados ao fim da produção.

Barankevicz (2015) identificou em sua pesquisa, atividade antioxidante de extratos etanólicos do rizoma de cúrcuma sobre tratamento com ratos, tendo o método ABTS apresentado valores superiores ao DPPH.

Hirun, Utama-Ang e Roach (2014) analisaram diferentes condições de secagem do rizoma de cúrcuma, compostos fenólicos e atividade antioxidante. Relatam que quanto maior o tempo de secagem no micro-ondas (4000W por 30 min), maior a atividade antioxidante e a quantidade de curcuminóides.

Nile e Park (2015) relataram alta atividade antioxidante para a fração acetato de etila de gengibre, sendo esta atividade atribuída aos compostos fenólicos 6-gingerol, 6-shogaol e 6-paradol identificados nesta planta.

Tanweer *et al.* (2020) relatam que as folhas apresentaram maior atividade antioxidante ($65,64 \pm 2,63\%$) em comparação com o rizoma ($52,76 \pm 2,11\%$), e independente das partes da planta, os extratos metanólicos obtiverem maior atividade antioxidante em relação aos etanólicos e aquosos.

Pelo reagente de Folin-Ciocalteu, Jardim *et al.* (2019) observaram que extratos aquosos das folhas de gengibre apresentam alto teor de compostos fenólicos, estatisticamente diferente dos rizomas. Somado a isto, pelo método DPPH, os autores também notaram menores valores de EC_{50} ($0,291 \pm 0,05$ mg/mL) nos extratos aquosos das folhas em comparação com dos rizomas ($0,846 \pm 0,005$ mg/mL), indicando maior atividade antioxidante nas folhas. Destacam, assim, estreita relação entre os níveis de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

Também pelo método DPPH, Dugasani *et al.* (2010) analisaram a atividade antioxidante dos compostos presentes no rizoma de gengibre e atribuem maior atividade (IC_{50} de $8,05 \pm 1,02$ M,) ao [6]-shogaol. O método de secagem do rizoma de gengibre por liofilização no estudo de An *et al.* (2016) foi o que apresentou EC_{50} mais baixo, logo uma atividade antioxidante mais alta ($1,05 \pm 0,11$). Já pelo método ABTS a

secagem por convecção combinada por microondas intermitente obteve melhor atividade antioxidante (71,68 mg ET/g \pm 6,11).

El-Ghorab *et al.* (2010) o óleo essencial de gengibre seco apresentou maior atividade antioxidante (83,87 \pm 0,50%) que de gengibre fresco (83,03 \pm 0,50%), sendo de modo geral os extratos em metanol mais eficientes que em hexano, relacionando o alto conteúdo de compostos fenólicos com a atividade antioxidante.

Jardim *et al.* (2019) apontam que os extratos alcóolicos dos rizomas de gengibre contêm compostos fenólicos com alta atividade antioxidante. Extratos aquosos das folhas apresentaram menor valores de EC₅₀, (0,291 \pm 0,05 mg/mL), quando comparados com extrato dos rizomas (0,846 \pm 0,005 mg/mL).

É válido apontar que há dificuldade em comparar atividade antioxidante de plantas, uma vez que frequentemente as metodologias sofrem adaptações nos volumes das soluções do extrato e dos radicais livres, e o resultado pode ser expresso de diversas formas.

Os resultados descritos neste trabalho incitam a continuidade da pesquisa de forma detalhada sobre a capacidade fitotóxica e antioxidante de compostos isolados das plantas em questão. Ambas as plantas apresentaram atividade antioxidante, sendo consideradas promissoras fontes para substituição de antioxidantes sintéticos.

5.3 CARACTERIZAÇÃO POR CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA

A maioria dos tratamentos apresentou compostos coloridos com diferentes fatores de retenção na Cromatografia em Camada Delgada (CCD). Nos extratos e frações de cúrcuma as manchas eram predominantemente de tons amarelados e em gengibre verdes.

Através dos reveladores mencionados na Tabela 2, foi possível identificar alguns grupos de moléculas que se encontravam nos extratos (APÊNDICE 01). Os resultados qualitativos obtidos com reveladores para os extratos de cúrcuma se encontram na Tabela 4 e de gengibre na Tabela 5.

TABELA 4 - GRUPOS DE COMPOSTOS PRESENTES NOS EXTRATOS E FRAÇÕES DE CÚRCUMA IDENTIFICADOS POR CCD

Código	Tratamentos	ALC	ANT	INS	CUM	E/T	FEN	TC	TH	FLA
BA	Extrato bruto	-	-	+	+	+	+	-	+	-
HEA	Fração hexânica	-	-	+	+	+	-	-	-	-
DA	Fração diclorometano	-	-	+	+	+	+	+	-	-
AA	Fração acetato de etila	-	-	+	+	+	+	-	+	-
HIA	Fração hidrometanólica	-	-	+	+	+	+	-	+	-

LEGENDA: ALC: Alcaloides; ANT: Antraquinonas; INS: Compostos insaturados CUM: Cumarinas; E/T Esteroides/Terpenos; FEN: Compostos fenólicos; TC: Taninos condensados; TH: Taninos hidrolisáveis; FLA: Flavonoides; (+) presença do metabólito e (-) ausência do metabólito. FONTE: A autora (2021).

TABELA 5 - GRUPOS DE COMPOSTOS PRESENTES NOS EXTRATOS E FRAÇÕES DE GENGIBRE IDENTIFICADOS POR CCD

Código	Tratamentos	ALC	ANT	INS	CUM	E/T	FEN	TC	TH	FLA
BG	Extrato bruto	-	-	+	+	+	+	+	+	-
HEG	Fração hexânica	-	-	+	+	+	-	-	-	-
DG	Fração diclorometano	-	-	+	+	+	+	+	-	-
AG	Fração acetato de etila	-	-	+	+	+	+	-	+	-
HIG	Fração hidrometanólica	-	-	+	+	+	-	-	-	-

LEGENDA: ALC: Alcaloides; ANT: Antraquinonas; INS: Compostos insaturados CUM: Cumarinas; E/T Esteroides/Terpenos; FEN: Compostos fenólicos; TC: Taninos condensados; TH: Taninos hidrolisáveis; FLA: Flavonoides; (+) presença do metabólito e (-) ausência do metabólito. FONTE: A autora (2021).

Após incubação de cada placa cromatográfica em câmara saturada com vapor de iodo por cinco minutos, foi detectada a presença de compostos insaturados em todas as frações e extratos de ambas as plantas, indicados pela formação de manchas marrons, ao passo que uma molécula de iodo foi adicionada à insaturação (LOPES, 2006).

O revelador anisaldeído sulfúrico indicou, após o aquecimento das cromatoplasmas a 105°C, a presença de esteroides e terpenos em todos os extratos e frações. Segundo Reginatto (2017), na reação de Liebermann-Burchard esteroides e terpenos passam por desidratação e oxidação podendo apresentar desde manchas de coloração rosa, vermelha, púrpura até violeta. Uma planta produz terpenos para repelir insetos herbívoros, ou para atrair insetos predadores de larvas e parasitas, dependendo a situação, comumente associado a aroma e sabor forte (TAIZ *et al.*, 2017).

A radiação UV excita compostos incolores, tornando-os fluorescentes (LOPES, 2006). Após a aspersão de solução de hidróxido de potássio sob as cromatoplasmas, estas foram expostas a luz UV, sendo possível identificar compostos que não haviam

sido observados pela luz visível. Foram reveladas, por exemplo, manchas azuis e verdes, identificando em todos os extratos e frações a presença de cumarinas, compostos fenólicos largamente distribuídos na natureza.

Outros compostos fenólicos identificados foram os taninos. Nos extratos e frações de cúrcuma, foi detectada a presença de taninos condensados somente na fração diclorometano, evidenciada por manchas verdes. Manchas azuladas indicaram a presença de taninos hidrolisáveis no extrato bruto, fração acetato de etila e hidrometanólica. Uthayarasa *et al.* (2010) apontam em sua pesquisa com rizoma de cúrcuma, a presença de taninos no extrato diclorometânico e ausência no hexânico e acetato de etila.

Braga, Vieira e Oliveira (2018), analisando as folhas frescas de cúrcuma, detectaram a presença de taninos hidrolisados ($330,32 \pm 5,94$ mg .100 g⁻¹ de matéria seca) e taninos condensados ($1756,43 \pm 8,73$ mg .100 g⁻¹ de matéria seca).

Nos extratos e frações de gengibre, foram identificados taninos condensados no extrato bruto além da fração diclorometano, bem como taninos hidrolisáveis no extrato bruto e fração acetato de etila. Rodrigues e Lira (2013), detectaram a presença de taninos no extrato hidroalcoólico.

Foram identificadas manchas marrons ao aplicar a solução de cloreto férrico, indicando a presença de mais compostos fenólicos em todos os extratos e frações, exceto na hexânica de ambas as plantas e na hidrometanólica de gengibre.

No teste com o revelador Hidróxido de Potássio 5%, não houve indícios da presença de compostos fenólicos do tipo antraquinonas, uma vez que nenhum extrato apresentou manchas vermelhas. Envolvendo a análise do rizoma de gengibre, por exemplo, a literatura consultada também relata não encontrar a presença deste composto secundário na planta (ELPO; NEGRELLE, 2004; RODRIGUES; LIRA, 2013).

Não foi detectada a presença de alcaloides tampouco de flavonoides, resultado semelhante ao obtido pela literatura consultada (ELPO; NEGRELLE, 2004; UTHAYARASA *et al.*, 2010; RODRIGUES, LIRA, 2013).

Na literatura, há inúmeros relatos de diferentes compostos fenólicos identificados no gengibre (KIYAMA, 2020). Tanweer e colaboradores (2020) analisaram compostos e bioatividade de extratos metanólicos, etanólicos e aquosos de várias partes de gengibre. Os autores apontam as folhas de gengibre como o órgão da planta com maior quantidade de 6-gingerol (4,9 mg/g) seguido de flores (2,87 mg/g)

e rizoma (1,03 mg/g). No estudo de Jardim *et al.* (2019), extratos aquosos da folha de gengibre apresentaram teores elevados ($160,86 \pm 0,17 \mu\text{g eq. AG/mg extrato}$) de compostos fenólicos em comparação com os rizomas ($132,018 \pm 3,31 \mu\text{g eq. AG/mg extrato}$).

A curcumina é o componente da cúrcuma mais estudado desde a antiguidade, entre várias outras razões, pela sua capacidade antioxidante, relacionada à doação de hidrogênio radicalar, que reage com espécies reativas de oxigênio, neutralizando eventuais danos da célula (SUETH-SANTIAGO *et al.*, 2015).

Chan, Lim e Lim (2007) analisaram a atividade antioxidante e o conteúdo total de compostos fenólicos de várias espécies e apontam que em *Z. officinale* Roscoe, o valor de compostos fenólicos foi maior nas folhas ($291 \pm 18 \text{ mg GAE/100 g}$) em comparação com o rizoma ($157 \pm 18 \text{ mg GAE/100 g}$). Em *C. longa* L., contudo, os maiores valores foram apresentados pelo rizoma.

Diversos pesquisadores vêm analisando a composição e a bioatividade de gengibre, por exemplo Yeh *et al.* (2014), que indicam a presença de monoterpenos como limoneno, cineol, linalol, geraniol e canfeno, além de sesquiterpenos como zingibereno, curcumeno e farneseno por exemplo. Bratati e colaboradores (2019) analisaram extratos de hexano de cinco espécies de cúrcuma. Com base no perfil do terpeno, separaram as espécies e notaram que apenas em *C. longa* L. foi detectado a presença Ar-Curcumene, beta-sesquiphellandrene, e alpha-zingiberene. Monoterpenos, por exemplo, podem afetar a taxa respiratória de algumas plantas, influenciando no desenvolvimento do embrião e conseqüentemente na germinação da semente (TAIZ *et al.*, 2017).

Os resultados obtidos na CCD, juntamente com o levantamento bibliográfico contribuem para a compreensão dos resultados de fitotoxidez e atividade antioxidante das folhas de cúrcuma e gengibre, destacando o potencial uso como herbicida natural.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Extratos e frações das folhas de cúrcuma e gengibre apresentaram fitotoxidez sobre as plantas daninhas amendoim-bravo e picão-preto, sendo esta última planta daninha, a mais sensível em todos os parâmetros analisados. Os resultados mais promissores para a redução da velocidade e percentual de germinação das sementes, foram nas frações diclorometano e acetato de etila, tanto de cúrcuma quanto de gengibre.

Em todos os ensaios realizados, houve diferença estatística significativa nas variáveis de crescimento entre as testemunhas e os extratos. Contudo, nos ensaios envolvendo gengibre, houve ainda diferença estatística significativa entre os extratos e frações, ocorrendo maior efeito inibitório nas frações diclorometano, acetato de etila e hidrometanólica, sendo o comprimento do hipocótilo mais afetado que a raiz primária.

Extratos e frações de ambas as plantas apresentaram atividade antioxidante pelos métodos analisados, sendo que por DPPH a fração mais ativa foi acetato de etila e pelo método ABTS foi diclorometano.

Foi detectada a presença de terpenos/esteróis e cumarinas em todos os extratos e frações analisadas. Alguns apresentaram taninos e compostos fenólicos. Quando se atrela os resultados obtidos com a literatura consultada, pode-se atribuir a atividade antioxidante observada pela presença de compostos fenólicos detectada.

Os resultados obtidos neste trabalho podem embasar estudos subsequentes de identificação da natureza química dos compostos ativos. Sugere-se que os subprodutos estudados sejam submetidos a análises mais aprofundadas a fim de comparar com diferentes concentrações de extrato e metodologias de extração, além de testar sobre diferentes plantas daninhas e cultivadas, para otimizar o rendimento e a qualidade dos compostos bioativos presentes no biorresíduos.

7 CONCLUSÕES

Extratos e frações orgânicas das folhas de cúrcuma e gengibre apresentaram fitotoxidez sobre amendoim-bravo e picão-preto, sendo as frações diclorometano e acetato de etila as que mais inibiram o desenvolvimento das plantas daninhas.

A maior atividade antioxidante também foi observada nas frações de diclorometano e acetato de etila de ambas as plantas.

A presença de terpenos e compostos fenólicos nos extratos e frações do estudo justificam a atividade antioxidante e fitotóxica.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S. *et al.* **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil.** Embrapa Soja: Circular Técnica 132. Londrina 2017, 11p.
- ADEYEMI, D. O.; AWONIRAN, P. O. *Curcuma longa* extracts suppress pathophysiology of experimental hepatic parenchymal cell necrosis. **Pathophysiology.** 26 (2): p. 153-162, 2019.
- AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: _____. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil.** Pelotas: Editora UFPel, p. 9-32, 2014.
- AKBAR, M.U. *et al.* Critical review on curcumin as a therapeutic agent: from traditional herbal medicine to an ideal therapeutic agent. **Crit Rev Eukaryot Gene Expr.** 28(1), p.17–24, 2018.
- AKBAR, M., IQBAL, M.S KHALIL, T. Isolamento e Caracterização de Compostos Herbicidas Naturais Derivados de *Drechslera rostrata*. **Planta Daninha.** 2017, v. 35. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100056>> Acesso em 10 de dezembro de 2020.
- AKTER, J. *et al.* Plant growth inhibitors in turmeric (*Curcuma longa*) and their effects on *Bidens pilosa*. **Weed Biology and Management.** 18, p.136–145, 2018.
- ALBUQUERQUE, B.R. *et al.* Valorization of *Sicana odorifera* (Vell.) Naudin Epicarp as a Source of Bioactive Compounds: Chemical Characterization and Evaluation of Its Bioactive Properties. **Foods,** v.10, n. 700, 12 p. 2021.
- ALDRICH, R. J. Weed-Crop Ecology e Principles in Weed Management. **Breton Publishers,** North Scituate, MA. 1984.
- ALLEM, L. N. **Atividade alelopática de extratos e triturados de folhas de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) sobre o crescimento inicial de espécies alvo e identificação de frações ativas através de fracionamento em coluna cromatográfica.** 84f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2010.
- ALMEIDA, M. Z. **Plantas Mediciniais.** 3. ed. Salvador: EDUFBA, 2011. Disponível em: <<https://static.scielo.org/scielobooks/xf7vy/pdf/almeida-9788523212162.pdf>> Acesso em 7 de julho de 2021.
- ALSHARBINY, M.A. *et al.* Ameliorative and protective effects of ginger and its main constituents against natural, chemical and radiation-induced toxicities: A comprehensive review. **Food and Chemical Toxicology,** 104 p. 2018
- AMARAL, L. A. **Estudos Genéticos e Morfológicos de Biótipos Resistentes e Susceptíveis de *Euphorbia heterophylla* L. (amendoim-bravo).** 50 f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 2006.

ANDREO D.; JORGE, N. Antioxidantes naturais: técnicas de extração. **Boletim do centro de pesquisa e processamento de alimentos**. v. 24, n. 2, p. 319-336, 2006.

AÑIBARRO-ORTEGA, M. *et al.* Valorisation of table tomato crop by-products: Phenolic profiles and in vitro antioxidant and antimicrobial activities. **Food and Bioproducts Processing**. 124, p. 307-319, 2020.

ANVISA. **Farmacopeia Brasileira**. ANVISA: AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. 6. ed. V.1, Brasília – DF, 874 p. 2019.

AZIZI, S. *et al.* ZnO-Ag Core Shell Nanocomposite Formed by Green Method using Essential Oil of Wild Ginger and Their Bactericidal and Cytotoxic Effects, **Applied Surface Science**, 24p. 2016.

BALIGA, M.S. *et al.* Update on the chemopreventive effects of ginger and its phytochemicals. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 51(6): p.499–523, 2011.

BARANKEVICZ, G. B. **Poder antioxidante da cúrcuma (*Curcuma longa* L.) nos parâmetros neuroquímicos em ratos induzidos a depressão** 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP Piracicaba. 2019.

BARNES, J.P., PUTNAM, A.R. Rye residues contribute to weed suppression in no-tillage cropping systems. **Journal of Chemical Ecology**. 9, p. 1045-1057, 1983.

BELL, J. A bioeconomia europeia. In: SAMPAIO, A. S. (Orgs.) **Cultivar: cadernos de análise e prospectiva**. N. 15, 119p. 2019.

BERNARDS, M. A. Plant natural products: a primer. **Canadian Journal of Zoology**, 88(7), p. 601-614, 2010.

BLOIS, M.S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. **Nature**, 181, p. 1199-1200, 1958.

BONAVIGO, R. C. **Ação bioherbicida de óleo essencial de rizoma de gengibre na germinação de nabo e azevém**. 34f. (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal da Fronteira Sul: Chapecó., 2021.

BORGES, M. S. **Análise das mudanças socioeconômicas, tecnológicas e ambientais no APL do Açafão em Mara Rosa e região – Goiás (1997-2009)**. 151 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Universidade Federal de Goiás, 2009.

BORGES, J. C. A. *et al.* Antioxidante da curcumina (*Curcuma longa* L.) na injúria de isquemia e reperfusão tecidual. **Enciclopédia Biosfera**, v.16 n.29; p. 48-62, 2019.

- BRAGA, M. C.; OLIVEIRA, T. F. Folha de *Curcuma longa* L. in natura e desidratadas por diferentes métodos: caracterização físico-química. In: BRAGA, M. C. **Qualidade de folha de *Curcuma Longa* L. desidratada obtida com diferentes métodos de secagem**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- BRAGA, M. C.; VIEIRA, E. C. S.; OLIVEIRA, T. F. de. *Curcuma longa* L. Leaves: Characterization (bioactive and antinutritional compounds) for use in Human Food in Brazil, **Food Chemistry**. 265, p. 308-315, 2018.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT — Food Science and Technology**, 28 (1), p. 25-30, 1995.
- BRASIL. Ministério de Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNAD/DNV/CLAV, 1992.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Assistência Farmacêutica. **Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- BRATATI DE, B. *et al.* Profiling non-polar terpenes of rhizomes for distinguishing some Indian *Curcuma* species. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, 13, 2019.
- BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de Plantas Daninhas. In: OLIVEIRA, R. S. O. Jr.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Orgs.) **Biologia e manejo de plantas daninhas**, Omnipax: Curitiba, 2011, p. 1- 36.
- CANTRELL, C. L.; DAYAN, F. E.; DUKE, S. O. Natural products as sources for new pesticides. **Journal of Natural Products**, v. 75, p. 1231-1242, 2012.
- CARDOSO, E. dos S. *et al.* Germinação e desenvolvimento de plântulas da alface (*Lactuca sativa* L.) em diferentes extratos de *Zingiber officinale* Roscoe. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia v. 14, n. 25, p. 736-746, 2017.
- CARMO, C.A.S. do. *et al.* Gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) In: PAULA Junior, T.J.; VENZON, M. **101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas**. 2.ed. Belo Horizonte: EPAMIG, p.423-432, 2019.
- CARVALHO, L. B. (Ed.) **Plantas Daninhas**. Lages, 82 p. 2013.
- CARVALHO, W. P. *et al.* Alelopatia de extratos de adubos verdes sobre a germinação e crescimento inicial de alface. **Bioscience Journal**. v. 30, p. 1-11, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13910>>. Acesso em 5 de outubro de 2020.
- CARVALHO, P. R. N. Potencialidades dos corantes naturais. **Revista Brasileira dos Corantes Naturais**. Viçosa, v. 1, n.1, p.242-243, 1992.

CHAN, E. W. C., LIM, Y. Y.; LIM, T.Y. Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Leaves and Rhizomes of Some Ginger Species in Peninsular Malaysia. **The Gardens' Bulletin Singapore**, v. 59, p. 47-56, 2007.

CHAN, E. W. C.; LIM, Y.Y.; WONG, S. K. Antioxidant properties of ginger leaves: an overview. **Free Radicals and Antioxidants**, v.1, p. 6-16, 2011.

CONCEIÇÃO, N. et al. By-Products of Camu-Camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh] as Promising Sources of Bioactive High Added-Value Food Ingredients: Functionalization of Yogurts. **Molecules**, 25, 70, 17 p. 2020.

DEFAVERI, A. **Atividade alelopática de gengibre e funcho sobre a germinação e desenvolvimento inicial de plantas daninhas**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal Tecnológica do Paraná: Dois Vizinhos, 2018.

DISSANAYAKE, K. G. C.; WALIWITA, A. L. C.; LIYANAGE, R. P. A review on medicinal uses of *Zingiber officinale* (Ginger). **Inter. J. of Health Sci. Res.** 6 (7), p.142–148, 2020.

DUGASANI, S. *et al.* Comparative antioxidant and antiinflammatory effects of [6]-gingerol, [8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol. **Journal of Ethnopharmacology**, 127, p. 515–520, 2010.

EL-GHORAB, A. H. *et al.* Comparative Study on Chemical Composition and Antioxidant Activity of Ginger (*Zingiber officinale*) and Cumin (*Cuminum cyminum*) **J. Agric. Food Chem.**, 58, p. 8231–8237, 2010.

ELPO, E. R. S.; NEGRELLE, R. R. B. *Zingiber officinale* Roscoe: Aspectos botânicos e ecológicos. **Visão Acadêmica**. Curitiba, v. 5, n. 1, p. 27-32, 2004.

ELPO, E.R.S.; NEGRELLE, R. R. B.; RUCKER, N. G. A. Produção de gengibre no município de Morretes, PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.2, p.211-217, 2008.

EZZAT, S. M. *et al.* The hidden mechanism beyond ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) potent *in vivo* and *in vitro* anti-inflammatory activity. **J. Ethnopharmacol.**, 214, p. 113-123, 2018.

FAO. **Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura**. Faostat, 2013. Disponível em:
<<https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview>> Acesso em 12 de maio de 2020.

FAVARETTO, A. **Identificação e avaliação de compostos bioativos do capim-annoni em plantas daninhas**. 112 f. Tese (ia) - Universidade de Passo Fundo, 2018.

FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 1, p. 175-204, 2000.

FERREIRA, A. G.; BORGUETTI, F. (Orgs.) **Germinação: do Básico ao Aplicado**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed; 2004.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014.

FIORESI, R.S. *et al.* Efeito alelopático de *Solanum pimpinellifolium* L. sobre a germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* e *Bidens pilosa*. **Scientia Plena** v. 17, n. 6, 10 p. 2021.

GALEANO, E. V.; RIBEIRO, M. D. F.; COSTA, E. B. Boletim da Conjuntura Agropecuária Capixaba. Assistência Técnica e Extensão Rural: **Incaper Vitória-ES**. Ano V, n 18, 8 p. 2019.

GAZZIERO, D. L. P. *et al.* **Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja**. 2. ed. – Londrina: Embrapa Soja, n. 274, 126 p., 2015.

GLOBBO-NETO, L.; LOPES, N. plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p.374-381, 2007.

GOMES, C. R. DE. *et al.* Inibição de plantas invasoras pela fração acetato de etila do sorgo. **Enciclopédia Biosfera**, v.16 n.29; p. 1533-1543, 2019.

GOVINDARAJAN, V.S. Ginger: chemistry, technology, and quality evaluation: part 1. **Crit Rev Food Sci Nutr**. 17(1): p.1–96, 1982.

GRASSO, E. C.; AOYAMA, E. M.; FURLAN, M. R. Ação antiinflamatória de *Curcuma longa*L. (Zingiberaceae). **Revista Eletrônica Thesis**, São Paulo, n.28, p.117-129, 2017.

GUSTAVSSON, J. *et al.* Global food losses and food waste. Extend, causes and prevention. Rome: **Food and Agriculture organization of the United Nations**. 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/GFL_web.pdf> Acesso em 03 de junho de 2020.

HABERMANN, E. *et al.* Atividade fitotóxica de cascas do caule e folhas de *Blepharocalyx salicifolius* (Myrtaceae) sobre espécies infestantes. **Acta Biol. Colomb.**, 20(1): p.153-162, 2015.

HAIG, T. Allelochemicals in plants. In: ZENG R.S., MALLIK A.U., LUO S.M. (Orgs.) **Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry**. Springer, New York, p. 63-104, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77337-7_4> Acesso em 7 de maio de 2020.

HALLIWELL, B. How to characterize a biological antioxidant. **Free Radical Research Communications**. v.9, p.1-32, 1990.

HASAN, H. A. *et al.* Chemical composition and antimicrobial activity of the crude extracts isolated from *Zingiber officinale* by different solvents. **Pharmaceut Anal Acta**, v. 3, n. 9, 5p. 2012.

HE, Y. *et al.* Curcumin, inflammation, and chronic diseases: how are they linked? **Molecules**, v. 20, n. 5, p. 9183-213, 2015. doi: 10.3390/molecules20059183. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26007179>>. Acesso em 8 de janeiro de 2020.

HIRUN, S.; UTAMA-ANG, N.; ROACH, P. Turmeric (*Curcuma longa* L.) drying: an optimization approach using microwave-vacuum drying. **Journal of Food Science and Technology**. 51, (9), p. 2127-2133, 2014.

HO, C. T. *et al.* Phytochemicals in teas and rosemary and their cancer-preventive properties. In: HO, C.T., OSAWA, T., HUANG, T.M., ROSEN, R.T. *Food phytochemicals for cancer prevention*. Washington: **American Chemical Society** (ACS Symposium Series, n.547) p.2-19, 1994.

IBÁÑEZ, M. D.; BLÁZQUEZ, M. A. Ginger and turmeric essential oils for weed control and food crop protection. **Plants**, 8, 59; 14 p. 2019.

INOUE, M.H. *et al.* Potencial alelopático de *Annona crassiflora*: efeitos sobre plantas daninhas. **Planta Daninha**.v. 28, n. 3, p. 489-498, 2010.

INTERNATIONAL TRADE CENTRE, UNCTAD/WTO. **Essential oils and oleoresins: a study of selected producers and major markets**. Genebra, 26p.,1986.

JABRAN, K. *et al.* Allelopathy for weed control in agricultural systems. **Crop Protection**, 72, p.57-65, 2015.

JARDIM, M. F. A. *et al.* Atividade antibacteriana e antioxidante dos extratos aquosos das folhas e dos rizomas de *Zingiber officinale* Roscoe cultivadas no horto medicinal da UNIPAR. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 18292-18309, 2019.

JAYAN, H. *et al.* Improvement of bioavailability for resveratrol through encapsulation in zein using electrospraying technique. **Journal of Functional Foods**. v. 57, p.417–424, 2019.

Jl, K. *et al.* Ginger oleoresin alleviated gamma-ray irradiation-induced reactive oxygen species via the Nrf2 protective response in human mesenchymal stem cells. **Oxid. Med. Cell. Longev**. 12 p. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2017/1480294>> Acesso em 4 de abril de 2020.

JIMENEZ-LOPEZ, C. *et al.* Agriculture wastes valorisation as a source of antioxidant phenolic compounds within a circular and sustainable bio-economy. **Food & Function**, v. 11 (6), p. 4853-4877, 2020.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo: BASF Brasileira S.A. 1997, 798 p.

KIYAMA, R. Nutritional implications of ginger: chemistry, biological activities and signaling pathways. **Journal of nutritional Biochemistry**, 86:(5) 15 p. 2020.

KOCAAADAM, B.; SANLIER, N. Curcumin, an active component of turmeric (*Curcuma longa*), and its effects on health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 57(13), p.2889–2895, 2017.

KUSKOSKI, E.M. *et al.* Aplicação de diversos métodos químicos para determinar atividade antioxidante em pulpa de frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.4, p.726-732, 2005.

LATIF, S.; CHIAPUSIO, G.; WESTON, L. A. Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence. In G. Becard (Ed.), *Advances in botanical research: How plants communicate with their biotic environment*. **Academic Press**. v. 82, p. 19-54, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.001>> Acesso em 3 de maio de 2020.

LIU, H. *et al.* Morphological Anatomy of Leaf and Rhizome in *Zingiber officinale* Roscoe, with Emphasis on Secretory Structures, **HortScience**, 55(2), p. 204-207, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.21273/HORTSCI14555-19>> Acesso em 22 de maio de 2021.

LIMA, R. M. T. *et al.* Protective and therapeutic potential of ginger (*Zingiber officinale*) extract and [6]-gingerol in cancer: A comprehensive review. **Phytotherapy Research** 32 (10) p.1885-1907, 2018.

LIMA, H. R. P. *et al.* Alelopatia: potencialidades do seu uso no controle do mato. In: OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. **Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia**. Embrapa, Brasília, p. 148-164, 2018.

LOPES, J. L. C. Cromatografia em Camada Delgada. In: COLLINS, C. H.; BRAGA G. L.; BONATO, P. S. **Fundamentos em Cromatografia**. Campinas: Editora da Unicamp, 2006, p.67-86.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. de. **Plantas medicinais no Brasil: Nativas e Exóticas**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

MAGHBOOLI, M. *et al.* Comparison between the efficacy of ginger and sumatriptan in the ablative treatment of the common migraine. **Phytotherapy Research**, 28, p. 412–415, 2014.

MAGHIMAA, M.; ALHARBI, S.A. Green synthesis of silver nanoparticles from *Curcuma longa* L. and coating on the cotton fabrics for antimicrobial applications and wound healing activity. **Journal of Photochemistry Photobiology, B. Biology**. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111806>> Acesso em 15 de abril de 2020.

MAGIERO, E.C. *et al.* Efeito alelopático de *Artemisia annua* L. na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.11, n.3, p.317-324, 2009.

MAGUIRE, J.D. Velocidade de germinação - Ajuda na seleção e avaliação para emergência e vigor de plântulas 1. **Crop science**, v. 2 (2), p.176-177, 1962.

MALTA, M. R. *et al.* Mathematical models applied to the optimisation of mixtures in the production of silage from coffee by-products. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 389-394, 2017.

MANTOVANELLI, G. C. *et al.* Ensaios de germinação e crescimento inicial de diversas espécies de plantas daninhas para *screening* de atividade herbicida de compostos naturais. **(Anais) X Encontro Internacional de Produção Científica**. UNICESUMAR: Maringá, 2017.

MAO, Q. *et al.* Bioactive Compounds and Bioactivities of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Foods**. v. 8 (185), p. 1–21, 2019.

MARTÍNEZ-PENÁLVER A. *et al.* The early response of *Arabidopsis thaliana* to cadmium- and copper-induced stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 78, p. 1-9, 2012.

MARZO, C. *et al.* Valorization of agro-industrial wastes to produce hydrolytic enzymes by fungal solid-state fermentation. **Waste Management and Research**, v. 37, n. 2, p. 149–156, 2019.

MATSUMOTTO R. S. *et al.* Potencial alelopático do extrato foliar de *Annona glabra* L. (Annonaceae). **Acta Bot. Bras.** 24(3): p. 631-635. 2010.

MESCHEDE, D. K. *et al.* Período crítico de interferência da *Euphorbia heterophylla* na cultura da soja sob baixa densidade de semeadura. **Planta Daninha**, v. 20, n. 3, p. 381- 387, 2002.

MGI - McKinsey Global Institute. Resource Revolution: Meeting the World's Energy, Materials, **Food and Water Needs**. 2011 (Online). Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainabilityand-resource-productivity/ourinsights/resource-revolution>> Acesso em 2 de dezembro de 2019.

MILAN, D. R. Cúrcuma, produção e utilização como ingrediente e aditivo na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Corantes Naturais**, Viçosa. v. 1, n. 1, p. 248-249, 1992.

MOLYNEUX, P. The Use of Stable Free Radical Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, 26, p. 211-219. 2004.

MORAIS, C. C. S. *et al.* Potencial alelopático do extrato aquoso de gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) sobre a germinação de sementes de capim amargoso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, 7 p. 2021.

MORELLI, M. R. S. Plantas aromáticas, medicinais e plantas com flores e folhas comestíveis. In: _____ **Guia de produção de plantas medicinais, aromáticas e flores comestíveis**. Porto Alegre: Cidadela, p. 56-223. 2010.

MUNDA, S. *et al.* Chemical analysis and therapeutic uses of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) essential oil: A review. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, 21(4), p. 994–1002, 2018.

MOLISCH, H. **Der einfluss einer pflanze auf der andere Allelopathie**. G. Fischer, Jena. 1937.

NAIR, K.P. Turmeric (*Curcuma longa* L.) and Ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) World's Invaluable Medicinal Spices. **The Agronomy and Economy of Turmeric and Ginger**, 1. ed. Springer Nature Switzerland, 243 p. 2019.

NEGRI, G.; DUARTE-ALMEIDA, J. M. Ensaio fitoquímico em Plantas Medicinais: Propriedades, Extração, Caracterização e Quantificação de Princípios Ativos. In: CARLINI, E. A.; MENDES, F. R. **Protocolos em Psicofarmacologia Comportamental**. São Paulo: Editora Fap-Unifesp, 2011, p. 65-105

NILE, S. H.; PARK, S. W. Chromatographic analysis, antioxidant, anti-inflammatory, and xanthine oxidase inhibitory activities of ginger extracts and its reference compounds. **Industrial Crops and Products**, 70, p. 238–244, 2015.

NOORI, S.; ZEYNALI, F.; ALMASI, H. Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (*Zingiber officinale*) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets. **Food Control**, 84, p. 312–320, 2018.

NNOLIM, N.E.; OKOH, A.I.; NWODO, U.U. Proteolytic bacteria isolated from agro-waste dumpsites produced keratinolytic enzymes. **Biotechnology Reports**. Amsterdam, Netherlands, v. 27, 2020.

OCBES. Sindicato e Organização das Cooperativas Brasileiras do Estado do Espírito Santo. Exportação agrícola ganha fôlego e atinge US\$1 bilhão. 2009. Disponível em:

<http://www.ocbes.coop.br/ocb/index.php?id_noticia=768&module=m_noticias>Acesso em 1 de outubro de 2020.

OLIVEIRA, L. L. de.; CARVALHO, M. V. DE.; MELO, L. Health promoting and sensory properties of phenolic compounds in food. **Revista Ceres**, v. 61, p. 764-779, 2014.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO (OCDE). **Meeting policy challenges for a sustainable bioeconomy**. 2018. Disponível em: <<http://www.oecd.org/sti/policy-challenges-facing-a-sustainable-bioeconomy-9789264292345-en.htm>>. Acesso em 15 de setembro 2020.

PADILHA, K. M. *et al.* Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, 38(5), p. 1377–1386, 2014.

PANESAR, P.S. *et al.* Bio-processing of agroindustrial wastes for production of food-grade enzymes: progress and prospects. **Applied Food Biotechnology**, v. 3, n. 4, p. 208–227, 2016.

PEREIRA, A. S.; STRINGUETA, P. C. Considerações sobre a cultura e processamento do açafrão. **Horticultura Brasileira**. v. 16, n. 2, p. 102-105, 1998.

PEREIRA, L. G.; JUNIOR, E. O. C.; COCCO, D. D. A. A influência do açafrão (*Curcuma longa* L.) no controle biológico. **Getec**, v.5, n.9, p.46-56, 2016.

PEREIRA, R. de C. A. Açafrão. In: PAULA JÚNIOR, T. J. de; VENZON, M. **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Embrapa Agroindústria Tropical-INFOTECA-E, 2. ed. rev. atual. Belo Horizonte: EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, p. 51-53, 2019.

PINELA, J. *et al.* Valorisation of tomato wastes for development of nutrient-rich antioxidant ingredients: A sustainable approach towards the needs of the today's society. **Innov. Food Sci. Emerg. Technol.** 41, 160–171, 2017.

PITELLI, R.A. *et al.* **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho. p. 29-55, 2004.

PITELLI, R. A. Weed-soybean interference studies in Brazil. In: COPPING, L. G.; GREEN, M. B.; REES, R. T. **Pest management in soybean**. London: Elsevier Publishers, p. 282-289, 1992.

PRADO, R. D. *et al.* **Multiple resistant wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla*)**. 2006. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Case/Case.asp?ResistID=5318>>. Acesso em 10 de janeiro de 2010.

PRASAD, S.; TYAGI, A.K. Ginger and its constituents: role in prevention and treatment of gastrointestinal cancer. **Gastroenterology Research and Practice**, 2015. Disponível: <<https://doi.org/10.1155/2015/142979>> Acesso em 8 de abril de 2020.

PRIYADARSINI, K. I. The Chemistry of Curcumin: From Extraction to Therapeutic Agent. **Molecules**. v. 19, n. 12, p. 20091-20112, 2014.

PUTNAM, A. R. Weed allelopathy. In: DUKE, S.O. **Weed Physiology: Reproduction and Ecophysiology**. CRC Press, Boca Raton, 1985, p. 131-155.

QUINN, J. C.; KESSELL, A.; WESTON, L. A. Secondary plant products causing photosensitization in grazing herbivores: their structure, activity and regulation. **International Journal of Molecular Sciences**, 15(1), p. 441-1465, 2014.

RAJ, C. A. *et al.* Leaf extract of *Alpinia purpurata* (Vieill) K. Schum screened for its phytochemical constituents and antibacterial and anticancer activities. **Journal of Chinese Integrative Medicine**, Beijing, v. 10, n. 12, p. 1460-1464, 2012.

RAVINDRAN. P. N. *et al.* Ginger: the genus Zingiber. USA: **CRC Press**, 2005. p. 15–85.

REGINATTO, F. H. Introdução à análise fitoquímica. In: SIMÕES, C. M. O. *et al.* **Farmacognosia: do produto natural ao medicamento**. Porto Alegre: Artmed, 2017, p. 69-81.

REIGOSA, M. *et al.* Allelopathic research in Brazil. **Acta Bot Bras**. 27(4): p. 629-646, 2013.

RIBEIRO, V. R. *et al.* Bringing together *Saccharomyces cerevisiae* and bioactive compounds from plants: A new function for a well-known biosorbent. **Journal of Functional Foods**, v.60, 2019.

RICARDO, L. L. *et al.* Phytochemical investigation and phytotoxic activity of aerial parts of oilseed radish (*Raphanus sativus* var. oleifer Stokes). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 78, p. 52-58, 2018.

RODRIGUES, M. L.; LIRA, R. K. Perfil fitoquímico e biológico do extrato hidroalcoólico dos rizomas do gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe). **SaBios-Revista De Saúde E Biologia**, 8(1), p. 44-52, 2013.

RUCKER, N.G.A. Gengibre. In: DERAL, **Informativo Diário**. SEAB/PR, , n. 872, 2002.

RUFINO, M. S. M. *et al.* **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS^{o+}**. Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 128, p. 1-4, 2007.

SAAD, R. *et al.* Comparative studies of *Zingiber officinale* leaves and rhizomes on the antibacterial effect. **International Journal of Pharmacy and Analytical Research**, Żurawia, v. 3, n. 3, p. 262-268, 2014.

SAFRA-ES: Gengibre é um negócio da China? Não, é um negócio capixaba. **Revista Conexão Safra – Espírito Santo**, Anuário 2020. Disponível em: <<https://www.safraes.com.br/anuario-2020/gengibre-um-negocio-china-nao-um-negocio-capixaba>> Acesso em 27 de junho de 2021.

SANTHOSHKUMAR, R.; YUSUF, A. Chemotaxonomic studies on rhizome extract compositions of twenty *Curcuma* species from South India. **Biochemical systematics and ecology**, 84, p. 21-25, 2019

SEAG, **Secretaria do Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca**. O Estado é o maior produtor e exportador de gengibre, 2007. Disponível em <<http://www.seag.es.gov.br>>, acesso em 21 de dezembro de 2019.

SEARLE, T. *et al.* The top 10 cosmeceuticals for facial hyperpigmentation. **Dermatologic Therapy**, p. 1–12, 2020.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. **Journal of Functional Foods**. p. 820–897, 2015.

SHANKAR, S. *et al.* Curcumin enhances the apoptosis-inducing potential of TRAIL in prostate cancer cells: molecular mechanisms of apoptosis, migration and angiogenesis. **Journal of Molecular Signaling**, 2, 10,14 p. 2007.

SHARIFI-RAD, M. *et al.* Plants of the genus *Zingiber* as a source of bioactive phytochemicals: from tradition to pharmacy. **Molecules**, Naples, 22, 2145, p. 1-20, 2017.

SHIRAHIGUE, L. D.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Agro-industrial wastes as sources of bioactive compounds for food and fermentation industries. **Ciência Rural**, v.50, n.4, 17p, 2020.

SILVA, N.F. da. Cultura do açafrão: horticultura brasileira. **Revista da Sociedade Brasileira de Olericultura**. Brasília, v. 19, n. 2, 2001.

SIMITZIS, P. E. Agro-industrial by-products and their bioactive compounds-An ally against oxidative stress and skin aging. **Cosmetics**. 5(4), p. 1–16, 2018.

SINGH, P. *et al.* Ginger (*Zingiber officinale*): A Nobel Herbal Remedy. **Int. J. Curr. Microbiology and Applied Sciences** 7, p. 4065–4077, 2018.

SOARES A. A *et al.* Antimicrobial activity of species *Zingiber officinale* Roscoe and *Alpinia purpurata* (Vieill.) K. Schum. (Zingiberaceae). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 4, p.1849-1862, 2018.

SOUZA FILHO, A. P. da. Alelopatia: das primeiras observações aos atuais conceitos. In: SOUZA FILHO, A. P. da S.; ALVES, S. de M. **Alelopatia: princípios básicos e aspectos gerais**. Embrapa Amazônia Oriental, p. 15-23, 2002.

STALIKAS, C. D. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. **Journal of Separation Science**, 30(18), p.3268-3295. 2007.

SUETH-SANTIAGO, V. *et al.* Curcumina, o pó dourado do açafrão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas. **Química Nova**, v. 38, n. 4,

538-552, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150035>>. Acesso em 02 de outubro de 2019.

SWIECH, J. N. D. **Avaliação química e biológica de *Philodendron meridionale* Buturi & Sakur (Araceae)**. 171 f. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) - Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

TAKANO, H. K. *et al.* Multiple resistance to atrazine and imazethapyr in hairy beggarticks (*Bidens pilosa* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 547-554, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-70542016405022316>>. Acesso em 16 de maio de 2020.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2017.

TAMFU, A. N. *et al.* phenolic profiles, antibiofilm, anti-quorum sensing and enzyme inhibitory potentials of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze and *Curcuma longa* L. **Food Science and Technology**, v. 133, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820311397>> Acesso em 21 de abril de 2020.

TANWEER, S. *et al.* Comparison and HPLC quantification of antioxidant profiling of ginger rhizome, leaves and flower extracts. **Clinical Phytoscience**. 6, 12p., 2020.

TIVERON, A. P. **Atividade antioxidante e composição fenólica de legumes e verduras consumidos no Brasil**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 2010.

UTHAYARASA, K. *et al.* Antibacterial activity and qualitative phytochemical analysis of medicinal plant extracts obtained by sequential extraction method. **International Journal of Integrative Biology**. 10(2): p.76-81, 2010.

VELOSO, F. S. *et al.* Characterization and application of pomegranate epicarp extracts as functional ingredients in a typical Brazilian pastry product. **Molecules**. 25,7, p. 1-17, 2020.

VENKATADRI, B. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous rhizome extract of *Zingiber officinale* and *Curcuma longa*: In-vitro anti-cancer potential on human colon carcinoma HT-29 cells, **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, p. 2980-2986, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.09.021>> Acesso em 31 de março de 2021.

VERNIN, G.; PARKANYI, C. Chemistry of ginger. In: RAVINDRAN, P. N.; NIRMAL, B. K. **Ginger: the genus Zingiber**. USA: CRC Press, p. 87-180. 8, 2005.

VOGEL, A. I. Cromatografia em camada fina. In: _____. **Análise química quantitativa**. Tradução de: AFONSO, J. C.; DE AGUIAR, P. F.; DE ALENCASTRO, R. B. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011, p. 138-143.

WANG, C. Z. W. *et al.* Cancer chemoprevention effects of ginger and its active constituents: potential for new drug discovery. **The American Journal of Chinese Medicine** 43, p. 1351–1363, 2015.

WANG, J. *et al.* Beneficial effects of ginger *Zingiber officinale* Roscoe on obesity and metabolic syndrome: a review. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 1398 (1), p. 83-98, 2017.

WEETMAN, C. **Economia circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa.** tradução Afonso Celso da Cunha Serra. 1. ed. São Paulo: Autêntica Business, 517p. 2019.

WEIR, T. L., PARK, S.W.; VIVANCO, J. M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. **Current Opinion in Plant Biology**, 7(4), p. 472-479, 2004.

WESTON, L. A.; DUKE, S. O. Weed and crop allelopathy. **Critical Reviews in Plant Sciences**, 22, p. 367-389, 2003.

WU, H.C. *et al.* Relaxant and vasoprotective effects of ginger extracts on porcine coronary arteries. **International Journal of Molecular Medicine**. 41 (4), p. 2420–2428, 2018.

YANG, H. L. *et al.* Zerumbone protects human skin keratinocytes against UVA-irradiated damages through Nrf2 induction. **Biochemical Pharmacology**. 148, p. 130-146, 2018.

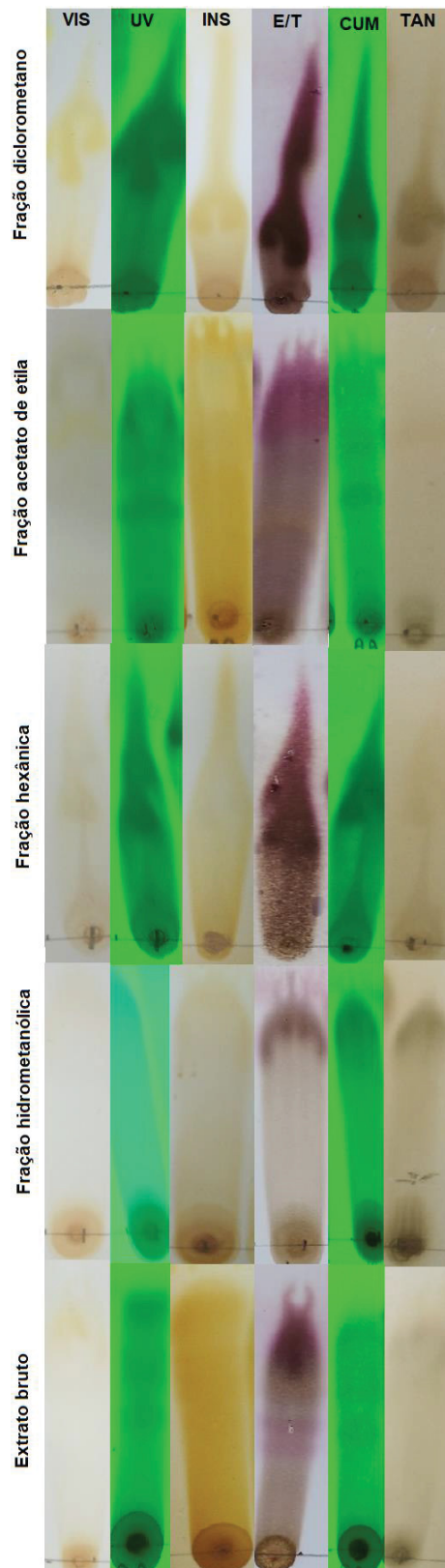
YEH, H. *et al.* Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. **LWT- Food Science and Technology**. 55, p. 329–334, 2014.

ZAREI, M.; ACHARYA, P.; TALAHALLI, R. R. Ginger and turmeric lipid-solubles attenuate heated oil-induced hepatic inflammation via the downregulation of NF-kB in rats, **Life Sciences**. 36, p.1-14, 2020.

ZHU, J. *et al.* Effects of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) on Type 2 Diabetes Mellitus and Components of the Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. **Evid Based Complement Alternat Med**, 2018.

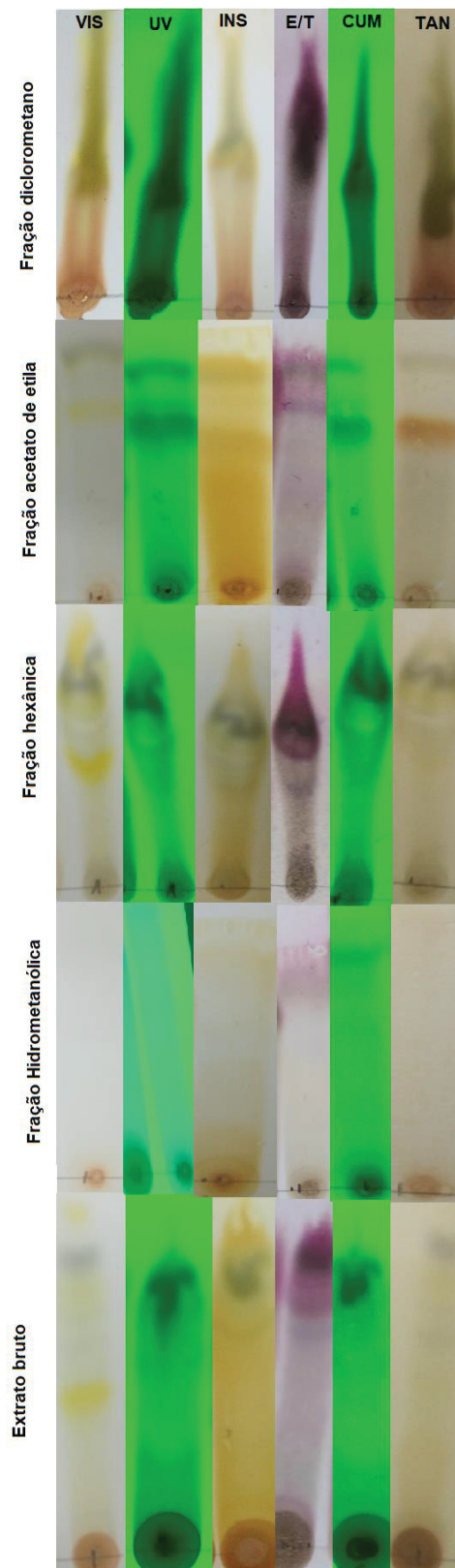
ZIMDAHL, R. L. Allelopathy. In: _____ **Fundamentals of weed science**. 5. ed, Academic Press. 2018, p. 253-270.

**APÊNDICE 1 – SCREENING DOS EXTRATOS E FRAÇÕES DAS FOLHAS DE
Curcuma longa L.**



LEGENDA: VIS: CCD observada sob luz visível; UV: CCD observada sob luz ultravioleta; INS: Compostos insaturados; E/T: Esteroides/Terpenos; CUM: Cumarinas; TAN: Taninos e compostos fenólicos. FONTE: A autora (2021)

**APÊNDICE 2 – SCREENING DOS EXTRATOS E FRAÇÕES DAS FOLHAS DE
Zingiber officinale ROSCOE**



LEGENDA: VIS: CCD observada sob luz visível; UV: CCD observada sob luz ultravioleta; INS: Compostos insaturados; E/T: Esteroides/Terpenos; CUM: Cumarinas; TAN: Taninos e compostos fenólicos. FONTE: A autora (2021)