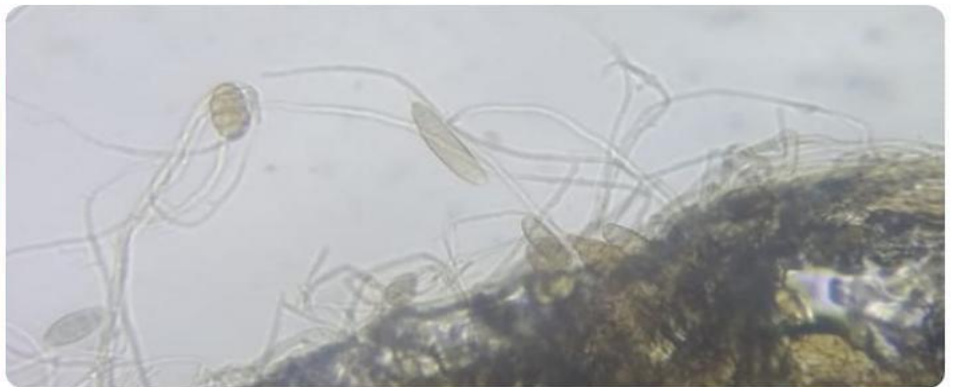
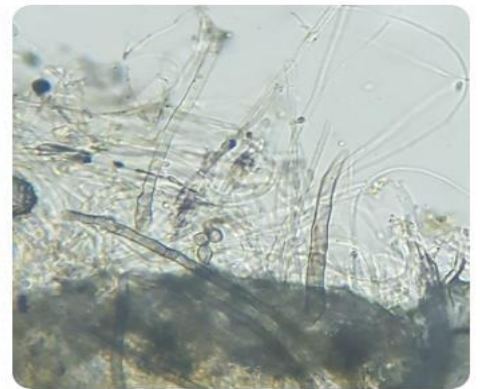
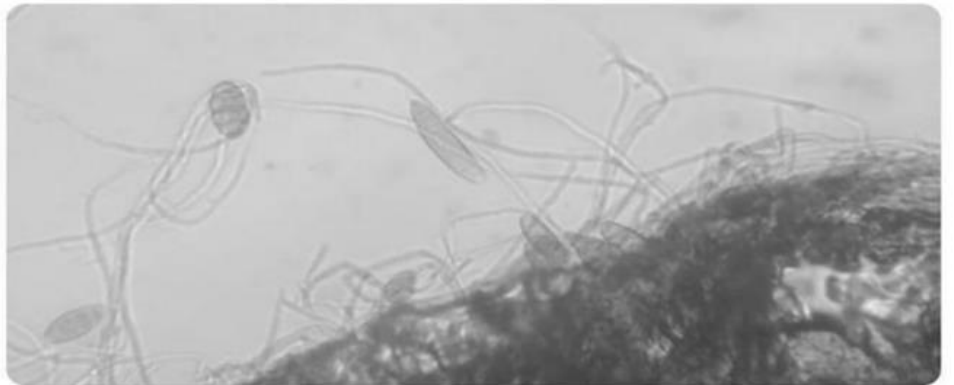
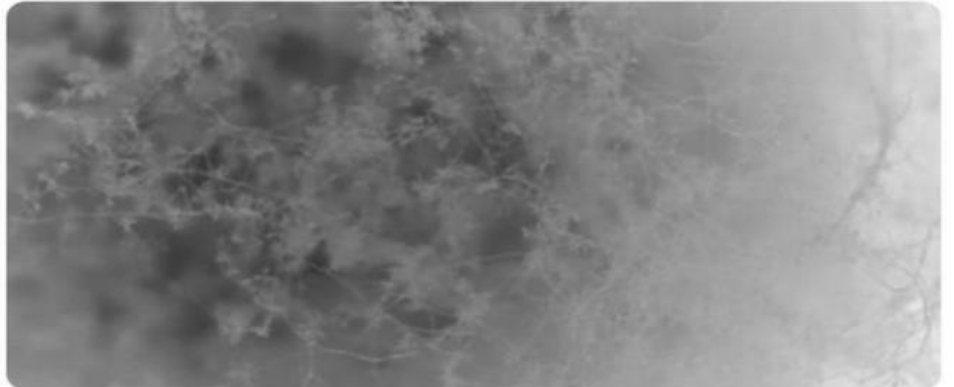
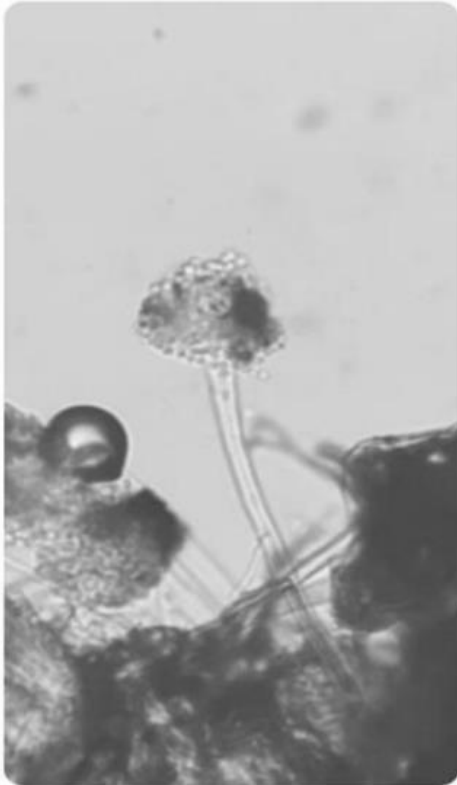
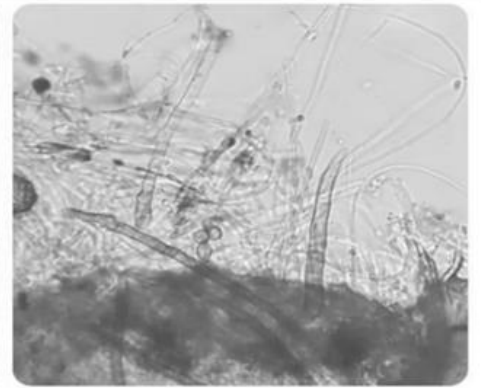
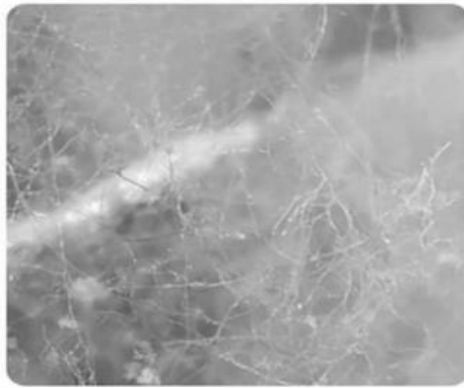
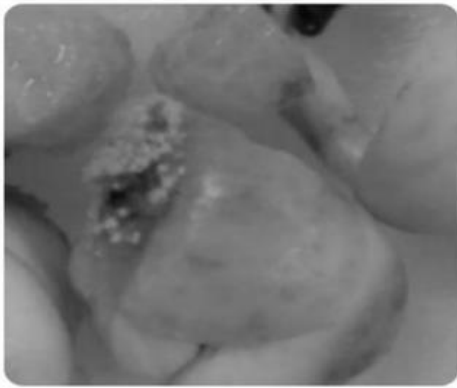


# PATÓGENOS DE SEMENTES



*como identificar, controlar e prevenir*

# PATÓGENOS DE SEMENTES



*como identificar, controlar e prevenir*

© 2024 – Editora MultiAtual

[www.editoramultiatual.com.br](http://www.editoramultiatual.com.br)

editoramultiatual@gmail.com

### **Autores**

Carla Michelle da Silva

Antônio Veimar da Silva

Luis Carlos dos Anjos Cortez

Bruno Antonio Lemos de Freitas

Jorge Luís Carvalho Silva

**Editor Chefe:** Jader Luís da Silveira

**Editoração e Arte:** Resiane Paula da Silveira

**Capa:** Os Autores/MultiAtual/Montagem

**Revisão:** Respectivos autores dos artigos

### **Conselho Editorial**

Ma. Heloisa Alves Braga, Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, SEE-MG

Me. Ricardo Ferreira de Sousa, Universidade Federal do Tocantins, UFT

Me. Guilherme de Andrade Ruela, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF

Esp. Ricael Spirandeli Rocha, Instituto Federal Minas Gerais, IFMG

Ma. Luana Ferreira dos Santos, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Ana Paula Cota Moreira, Fundação Comunitária Educacional e Cultural de João Monlevade, FUNCEC

Me. Camilla Mariane Menezes Souza, Universidade Federal do Paraná, UFPR

Ma. Jocilene dos Santos Pereira, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Dra. Haiany Aparecida Ferreira, Universidade Federal de Lavras, UFLA

Me. Arthur Lima de Oliveira, Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do RJ, CECIERJ

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586p Patógenos de Sementes: como identificar, controlar e prevenir  
/ Carla Michelle da Silva, Antônio Veimar da Silva, Luis Carlos do Anjos  
Cortez, et al.. – Formiga (MG): Editora MultiAtual, 2024. 92 p. : il.

Outros autores:

Bruno Antonio Lemos de Freitas; Jorge Luís Carvalho Silva

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-6009-048-4

DOI: 10.5281/zenodo.10725032

1. Ciências Agrárias. 2. Patógenos de Sementes. 3. Identificação,  
controle e prevenção. I. Silva, Carla Michelle da. II. Silva, Antônio Veimar da. III.  
Cortez, Luis Carlos do Anjos. IV. Título.

CDD: 631.52

CDU: 631/63

*Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam  
responsabilidade de seus autores.*

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins  
comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora MultiAtual

CNPJ: 35.335.163/0001-00

Telefone: +55 (37) 99855-6001

[www.editoramultiatual.com.br](http://www.editoramultiatual.com.br)

[editoramultiatual@gmail.com](mailto:editoramultiatual@gmail.com)

Formiga - MG

Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:

[https://www.editoramultiatual.com.br/2024/02/patogenos-  
de-sementes-como-identificar.html](https://www.editoramultiatual.com.br/2024/02/patogenos-de-sementes-como-identificar.html)



# **Patógenos de sementes: como identificar, controlar e prevenir**

## **Autores**

**Carla Michelle da Silva**

**Antônio Veimar da Silva**

**Luiz Carlos do Anjos Cortez**

**Bruno Antonio Lemos de Freitas**

**Jorge Luís Carvalho Silva**

## SUMÁRIO

	Pág.
APRESENTAÇÃO.....	8
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	9
1. A qualidade sanitária de sementes no mundo e no Brasil.....	9
2. Temas abordados no livro .....	10
CAPÍTULO 2 - ASSOCIAÇÃO DE PATÓGENOS COM SEMENTES .....	13
1. Os fungos.....	15
2. As bactérias.....	16
3. Os vírus.....	16
4. Os nematoides .....	18
CAPÍTULO 3 - FORMAS DE TRANSMISSÃO DE PATÓGENOS PARA SEMENTES .....	21
1. Transmissão Planta – Semente.....	21
2. Transmissão Semente – Semente .....	22
3. Transmissão Semente – Planta.....	24
CAPÍTULO 4 – EFEITO DE PATÓGENOS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E ANÁLISE DE IMAGENS DE RAIOS-X PARA AVALIAÇÃO SANITÁRIA DE SEMENTES.....	31
1. Fungos.....	31
2. Bactérias.....	34
3. Vírus.....	36
4. Nematóides .....	38
5. Imagens de raio-x para análise sanitária de sementes.....	39
CAPÍTULO 5 - MÉTODOS DE CONTROLE DE PATÓGENOS EM SEMENTES .....	50
1. Tratamento químico.....	50
2. Tratamento biológico .....	52
3. Tratamento físico .....	56
4. Outros tipos de tratamento de sementes .....	59
CAPÍTULO 6 - PRODUTOS NATURAIS COM EFEITO FUNGICIDA NO COMBATE A PATÓGENOS DE SEMENTES.....	70
1. Princípio ativo.....	70
1.1 Alfavaca.....	70
1.2 Alho.....	70
1.3 Cavalinha.....	72

## Patógenos de sementes: como identificar, controlar e prevenir

1.4	Citronela.....	72
1.5	Arruda.....	72
1.6	Canela.....	73
1.7	Cravo da Índia.....	73
1.8	Eucalipto.....	74
1.9	Extrato pirolenhoso.....	74
1.10	Romã.....	75
1.11	Capim cidreira.....	76
2.	Síntese de metabólitos secundários.....	76
2.1	Terpenos.....	76
2.2	Compostos fenólicos.....	78
2.3	Compostos nitrogenados.....	81
3.	Mecanismos de ação no controle de fungos.....	82

## APRESENTAÇÃO

O livro “Patógenos de sementes: como identificar, controlar e prevenir” é fruto da qualificação de Doutorado em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa-MG.

O livro compõe seis capítulos como segue: o capítulo 1, aborda a qualidade sanitária de sementes tanto em escala global quanto no contexto específico do Brasil. Destaca a importância desse aspecto na agricultura e apresenta uma visão geral dos temas envolvidos no livro; O capítulo 2, explora a presença de patógenos nas sementes, com foco em diferentes tipos, como fungos, bactérias, vírus e nematóides. Cada seção fornece uma análise aprofundada das características e impactos desses organismos na qualidade das sementes; O capítulo 3, investiga as diferentes vias de transmissão de patógenos para as sementes, incluindo a transmissão planta-semente, semente-semente e semente-planta. Cada forma de transmissão é examinada em detalhes, destacando os processos biológicos envolvidos; o Capítulo 4, analisa os efeitos específicos dos patógenos na qualidade fisiológica das sementes, com ênfase em fungos, bactérias, vírus e nematoides. Introduce o uso de imagens de raio-x como uma ferramenta eficaz para a avaliação sanitária de sementes; o Capítulo 5, explora diversas abordagens para o controle de patógenos em sementes, incluindo tratamento químico, tratamento biológico, tratamento físico e outros métodos inovadores. Cada método é discutido em termos de eficácia e aplicabilidade; e o último capítulo, o capítulo 6, apresenta uma investigação detalhada sobre produtos naturais com propriedades fungicidas para o controle de patógenos em sementes. Cada produto, como alfavaca, alho, cavalinha, citronela, arruda, canela, cravo da Índia, eucalipto, extrato pirolenhoso, romã e capim cidreira, é examinado quanto ao princípio ativo, síntese de metabólitos secundários e mecanismos de ação no controle de fungos.

O livro fornece uma abordagem holística sobre o complexo tema da presença de patógenos em sementes, desde sua associação até métodos de controle, culminando em uma análise profunda de produtos naturais com potencial fungicida. Destina-se a profissionais da agricultura, pesquisadores e estudantes específicos na qualidade e segurança das sementes.

**Os autores**



## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1. A qualidade sanitária de sementes no mundo e no Brasil

A qualidade de sementes no mundo tem melhorado significativamente nas últimas décadas. Isso se deve a uma série de fatores, tais como: o desenvolvimento de novas tecnologias de produção e tratamento de sementes; o aumento da conscientização sobre a importância da qualidade; e a adoção de regulamentações mais rigorosas para a produção e comercialização de sementes.

Apesar desses avanços, ainda existem desafios a serem enfrentados, entre eles encontram-se a carência de sementes de qualidade, pois muitos países não têm os recursos necessários para implementar programas de controle de qualidade sanitária de sementes eficazes. Outro aspecto é a presença de pragas e doenças emergentes, que prejudica de forma significativa a germinação, o vigor e a produção final. Além disso, vários outros fatores acabam sendo entraves quando se deseja obter sementes sadias, tais como: adversidades climáticas, condições precárias de armazenamento, deficiência de nutrientes, contaminação no processo de beneficiamento, etc.

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de sementes do mundo, sendo a qualidade das sementes considerada boa, no entanto, ainda há espaço para melhorias. Tendo em vista isso, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece padrões de qualidade para as sementes comercializadas, que são baseados em critérios de germinação, vigor, pureza varietal e sanidade (BRASIL, 2009).

As sementes de soja, milho, trigo e arroz são as mais produzidas e comercializadas no país (CONAB, 2023). Essas culturas são responsáveis por uma grande parcela da produção agrícola brasileira.

Diante disso, a qualidade sanitária das sementes é um dos principais desafios para essa produção agrícola, isso porque a presença de microrganismos patogênicos nas sementes pode causar perdas significativas de produtividade. Nessa perspectiva, os patógenos podem causar danos às sementes, tornando-as incapazes de germinar, reduzindo dessa forma, a produção em campo, pois as plantas que não germinam não produzem nenhum rendimento. Além disso, ocorre também diminuição do vigor, fazendo com que o vegetal fique mais suscetível a doenças e estresses ambientais.

Esse decréscimo na produtividade ocorre porque as sementes contaminadas acabam desenvolvendo doenças nas plântulas que germinam, por causa da ação do patógeno nas mesmas, originando diversos fatores negativos, como por exemplo, a diminuição da capacidade de fotossintetizar, de absorver nutrientes e conseqüentemente de produzir frutos ou grãos.

Diante disso, para garantir a qualidade sanitária das sementes, é importante realizar o tratamento de sementes com fungicidas, bactericidas ou nematicidas para algumas culturas, no entanto, existem vários investimentos em pesquisas e tecnologias em qualidade de sementes, tendo como objetivo aumentar a produtividade agrícola e reduzir os custos com produtos fitossanitários comerciais.

O tratamento de sementes é uma das principais medidas de controle da qualidade sanitária que consiste na aplicação de produtos químicos ou biológicos nas sementes para eliminar ou reduzir a população de microrganismos patogênicos. No Brasil, o tratamento de sementes é essencial para algumas culturas, como arroz, trigo, milho e soja, devido sua representatividade na produção do país.

Nesse sentido, é importante que se façam também pesquisas com produtos alternativos que tenham: eficiência fungicida; não reduzam a qualidade fisiológica das sementes; e que diminuam os riscos de contaminação do ambiente e a intoxicação de animais, tendo em vista que a adoção de medidas de controle da qualidade sanitária é essencial para garantir a produtividade e a rentabilidade da produção.

Além do tratamento de sementes, outras medidas de controle também podem ser utilizadas, tais como: o uso de sementes certificadas, boas práticas de manejo, aquisição de sementes com fornecedores confiáveis, armazenamento em local fresco, seco e protegido da luz, realização de rotação de culturas, eliminação restos culturais, entre outras medidas que podem ajudar a reduzir a contaminação de sementes por patógenos. Com isso, a adoção de medidas de controle é essencial para proteger as sementes da contaminação e garantir uma produção agrícola mais produtiva e sustentável.

## **2. Temas abordados no livro**

Nesse livro, serão abordados aspectos relevantes da qualidade sanitária de sementes, abordando primeiro a associação de patógenos, seguido da maneira como ocorre a transmissão desses microrganismos nas sementes. Ainda serão discutidos temas

atuais como a análise de imagens de raios-x, que avaliam a viabilidade das sementes e podem confirmar dados sobre a qualidade sanitária das mesmas. E por fim, serão apresentados alguns métodos de controle desses organismos fitopatogênicos, dando ênfase ao tratamento de sementes com extratos naturais, que podem ser produzidos por qualquer produtor em sua casa, sem custos de comercialização, como os encontrados em produtos sintéticos.

Esperamos que essa leitura seja de grande ajuda para você leitor!

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Mapa/ACS, Brasília, 2009. 399 p.

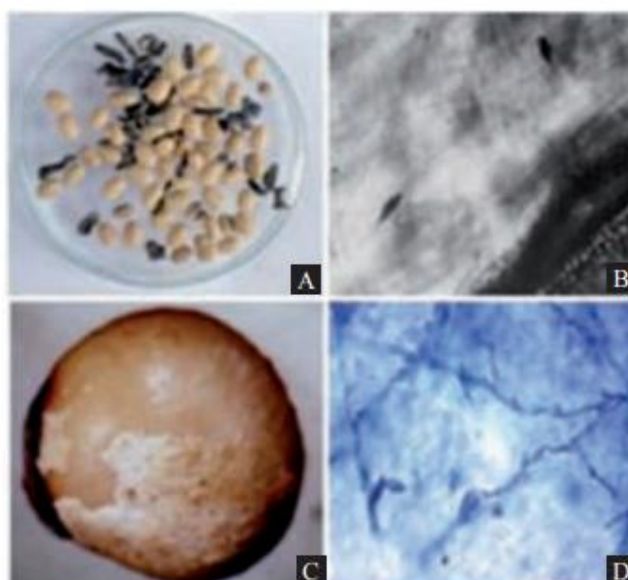
CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.11 – Safra 2023/24, n.2 - Segundo levantamento, 2023. 111p

## CAPÍTULO 2 - ASSOCIAÇÃO DE PATÓGENOS COM SEMENTES

A agricultura atual é uma atividade que tem passado por diversas mudanças durante os últimos anos; metodologias modernas de aplicação de insumos sintéticos são constantemente atualizadas com o objetivo de maximizar a produtividade em campo (SHARMA et al., 2015). Essa produtividade satisfatória só pode ser alcançada mediante a utilização de sementes que apresentem alta qualidade, sem presença de microorganismos (fungos, bactérias, vírus e nematoides) que contaminam tanto o interior como a superfície da semente, comprometendo a germinação, vigor e, conseqüentemente, o rendimento da cultura (CARDOZO; NETO PINHÃO, 2019).

A contaminação da semente por esses microrganismos pode acontecer de diversas formas, e esta acaba se tornando um veículo de propagação de patógenos mediante três formas (PEREIRA et al., 2015):

- a) Em mistura com as sementes, podendo estar separado ou não, constituindo parte da fração impura do lote (fragmentos vegetais; sementes de plantas invasoras; partículas de solo contaminado, etc) (Figura 1A);



**Figura 1.** (A) Escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* junto de sementes de soja; B) Conídios de *Alternaria zinniae* aderidos à semente de zínia; C) Crosta de oósporos de *Peronospora manshurica* na superfície de sementes de soja; D) Embrião do trigo com hifas de *U. tritici*.

Fonte: Brasil (2009).

b) Aderido à superfície das sementes (células bacterianas em fase latente, esporos e micélio fúngico dormente e partículas virais altamente estáveis) (Figura 1B);

c) Quando os tecidos da semente (superficiais ou/e internos – Figura 1C e 1D) apresenta o inóculo, sendo que quando o patógeno está dentro da semente, se torna mais difícil eliminá-lo. Esse tipo de associação acontece com maior frequência no caso de fungos e bactérias.

A associação de patógenos com sementes pode ocasionar danos econômicos significativos, e o prejuízo pode variar de acordo com o tipo de patógeno; o nível de tecnologia empregado; as condições climáticas; e diversos outros fatores que causam influência durante a condução da cultura e durante o período de armazenamento (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Esses patógenos prejudicam o potencial de produção das culturas e podem gerar perdas estimadas em torno de 10-20%, o que corresponde a uma redução de 8-16 milhões de toneladas de grãos por ano no território brasileiro. Exemplo disso pode ser observado em fusarioses de um grande número de espécies hospedeiras, antracnose em culturas de interesse econômico, bacterioses e viroses de olerícolas, dentre outros (PEREIRA, 2016).

Tendo em vista isso, é indispensável o uso de sementes com boa qualidade sanitária, livre de microrganismos que se refugiam tanto na superfície como no interior, pois estes transmitem doenças na lavoura causando perdas no rendimento da cultura e promovem a deterioração das sementes (CARDOZO; NETO, 2019).

No que diz respeito aos tipos de danos causados por patógenos associados a sementes, observa-se com maior frequência: abortos, deformações, apodrecimentos, estromatizações, manchas necróticas, descolorações da casca, etc., que interferem na germinação e se tornam fontes de infecção no campo. Já para as sementes armazenadas, os níveis de danos vão estar relacionados às condições do lote e do ambiente. Ocorre perda do poder germinativo, descoloração e apodrecimento, rancificação de óleos, aquecimento da massa de sementes e produção de micotoxinas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Todos esses danos são observados nas sementes devido abrigarem e transportarem agentes patogênicos de todos os grupos taxonômicos, tanto os que causam e os que não causam doenças também (BRASIL, 2009). No caso do feijão, muitos produtores adotaram o uso de sementes melhoradas, com boa qualidade sanitária. Porém, na agricultura familiar e na orgânica normalmente se produz sua própria semente, na qual

os agricultores fazem a seleção, produção e disseminação de sementes, para o cultivo, sem nenhum processo de certificação (SILVA, 2015).

Essa prática está prescrita na lei federal 10711/2003, que regulamenta a produção e comercialização de sementes, permitindo que agricultores familiares, assentados da reforma agrária e os indígenas, multipliquem sementes ou mudas para distribuição, e troquem ou comercializem entre si, isentando-os da inscrição no Registro Nacional de Sementes e Mudanças (RenaseM) (BRASIL, 2019).

Isso significa que não há um controle rígido de qualidade dessas sementes que estão sendo comercializadas/trocadas, principalmente quanto ao aspecto sanitário. Dessa forma, essas sementes sem padrão se constituem um grande risco fitossanitário para o agricultor, pois os patógenos associados a essas sementes podem ser um veículo de contaminação de novas áreas (ALTOÉ et al., 2018). Dentre os patógenos que sobrevivem e se disseminam através de sementes, os fungos se apresentam em maior número, seguidos pelas bactérias, vírus e alguns nematoides (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

## **1. Os fungos**

As espécies fúngicas podem ser agrupadas em fungos de campo ou de armazenamento, sendo que as espécies de campo se estabelecem nas sementes durante o processo de formação e maturação. Já os fungos de armazenamento invadem a semente após a maturação, no momento da colheita, beneficiamento e secagem (VECHIATO; PARISI, 2013).

Em campo, o inóculo pode atingir flores, frutos e sementes (PARISI et al., 2019). Nas frutíferas, a contaminação de patógenos pode resultar da própria matriz que se encontra doente ou da infecção dos frutos que depois atingem as sementes (SANTOS et al., 2015). Nas gramíneas, o micélio cresce do interior para o exterior da semente, sobre o coleóptilo, até atingir a superfície do solo, onde esporula. Já em dicotiledôneas, os cotilédones são colonizados durante a formação e maturação das sementes, dentro dos legumes. Posteriormente, na lavoura, as plântulas irão evidenciar lesões cotiledonares ou nas primeiras folhas (REIS et al., 2009).

Os fungos associados a sementes podem ser parasitas biotróficos ou necrotróficos. O primeiro grupo diz respeito aos fungos que não completam seu ciclo biológico em condições superficiais, dessa forma, estruturas típicas que os caracterizam não são

formadas em testes de sanidade que empregam métodos artificiais que induzem a formação destas estruturas. O segundo grupo, os necrotróficos, englobam a maioria das espécies associadas às sementes, seu ciclo biológico é parcial ou completo, formando estruturas típicas que podem ser reconhecidas com auxílio de microscópios (BRASIL, 2009).

## **2. As bactérias**

As bactérias podem estar associadas às sementes tanto externamente (aderida na semente sem causar infecção, apenas infestando-a), como internamente (alojada nos tecidos, infectando a sementes) (BARROCAS et al., 2009). Podem sobreviver nas sementes de forma latente, em baixas populações tendo sua multiplicação paralisada. Além disso, a semente infectada pode apresentar ou não sintomas relacionados à infecção ocasionada pela bactéria, mas comumente não apresentam. No entanto, sintomas característicos da infecção podem ser visualizados quando as sementes são submetidas ao teste de germinação, em seguida é realizado o isolamento da bactéria para sua posterior identificação (BRASIL, 2009).

As sementes possuem estruturas anatômicas que aumentam a probabilidade de infecção. Muitas bactérias fitopatogênicas alcançam a semente e algumas vezes o embrião via funículo. O funículo, todo ou em parte, sofre abscisão, deixando uma cicatriz, o hilo, que é geralmente a parte da semente mais permeável à água e juntamente com a micrópila proporcionam um meio de entrada para patógenos bacterianos. Trincas e outros ferimentos ocasionados nas sementes constituem porta de entrada para a contaminação de fitobactérias. Outras formas de penetração de bactérias podem ser através das flores, da invasão pelo sistema vascular ou durante o desenvolvimento e maturação de frutos e vagens (BRASIL, 2009).

## **3. Os vírus**

A associação de vírus por sementes é uma característica inerente à espécie viral e à hospedeira envolvida. Assim, uma mesma espécie viral pode ser transmitida através das sementes com eficiência em uma espécie botânica e não ser transmitida em outra (EIRAS et al., 2018).



As sementes portadoras de vírus constituem a fonte primária de inóculo na cultura. A introdução precoce do vírus na cultura possibilita a sua disseminação para plantas nos estádios iniciais de desenvolvimento, o que acarreta maiores danos, pois quanto mais jovem a planta for infectada, maiores serão os prejuízos. Portanto, para as culturas propagadas por sementes verdadeiras e que possuem vírus transmitidos através destas, é prática indispensável a utilização de sementes livres de vírus ou até com certificado de sanidade (FAJARDO; NICKEL, 2019).

A transmissão através de sementes ocorre em 25 gêneros e em mais de 100 espécies de vírus. A taxa varia de 0 a 100 %, porém raramente excede a 50 % e, na maioria dos casos, é muito menor, pois muitos vírus embora infectem as sementes na fase inicial do desenvolvimento, são eliminados durante o processo de maturação das mesmas. O vírus pode estar localizado fora do embrião, no entanto a transmissão de vírus em sementes como contaminantes na superfície ou em partes de origem maternal das mesmas é rara. E pode estar localizado ainda dentro do embrião, nesse caso, o acesso de vírus ao embrião ocorre diretamente, pela infecção do tecido reprodutivo antes da embriogênese, ou indiretamente, pela invasão do embrião durante algum estágio da embriogênese (DANIELS, 1999).

Para que os vírus sobrevivam na parte externa das sementes e contaminem a plântula durante a germinação ou transplante, eles devem ser altamente estáveis, de modo a não perder a viabilidade durante os processos de colheita, processamento e armazenamento. No Brasil, as únicas espécies de vírus que possuem essas características pertencem ao gênero Tobamovirus. Já quando o vírus está localizado no embrião, a planta mãe deve estar infectada antes da produção dos gametas ou, pelo menos, antes da separação citoplasmática dos tecidos embrionários. Isso porque o embrião e o endosperma são formados dentro do saco embrionário, depois da fertilização, e não existe conexão vascular direta nem contato celular com a planta mãe através de plasmodesmas, de modo que os vírus não possuem vias de translocação para esses tecidos após a produção dos gametas. Além dos vírus chegarem ao embrião através dos tecidos maternos, eles podem também contaminar os gametas masculinos, ou grãos de pólen. Isso significa que, caso sejam alógamas, plantas sadias podem produzir sementes infectadas, se o grão de pólen for proveniente de plantas infectadas (BRASIL, 2009).

#### **4. Os nematoides**

Os nematoides representam um grupo menor de fitopatogênicos quando comparados com os fungos e as bactérias, apenas algumas espécies apresentam importância agrícola quando estão associados às sementes. A disseminação de fitonematóides através de sementes acontece principalmente mediante o contato entre agricultores e melhoristas de plantas, que favorecem a propagação tanto a curta como a longas distancias, ultrapassando regiões e até mesmo países. O transporte dos nematoides pelas sementes acontece de três formas: estando no interior das sementes; quando associados a restos infectados da planta mãe e; como contaminação concomitante, sendo assim disseminadas misturadas às sementes produzidas ou, ainda na forma de cistos, contidos em torrões de solo ou aderidos às sementes de plantas hospedeiras (BRASIL, 2009).

Dessa forma, em alguns casos, os nematoides podem estar presentes nas sementes desde o início do seu desenvolvimento. Isso ocorre quando a planta-mãe está infectada por nematoides e os mesmos são transmitidos para as sementes através do tecido ovular. Em outros casos, os nematoides podem contaminar as sementes após a sua formação. Isso ocorre quando as sementes são expostas a nematoides presentes no ambiente, como no solo, na água ou no ar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTOÉ, L. M. *et al.* Qualidade sanitária de sementes de feijão produzidas por agricultores familiares no Espírito Santo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.
- BARROCAS, E. N. *et al.* Uso de técnicas moleculares para diagnose de patógenos em sementes. **Informe Agropecuário**, v. 30, n. 253, p. 24-32, 2009.
- BRASIL. **Lei nº10.711, de 5 de agosto de 2003**. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudanças e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 2003. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/2003/L10.711.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2003/L10.711.htm). Acesso: 03 dez. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Análise Sanitária de Sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 200 p.
- CARDOZO, L. V. F.; PINHÃO NETO, M. V. Extrato de neem no tratamento de sementes de tomate. **Revista Verde**, v. 14, n. 1, p. 1-4, 2019.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590 p.
- DANIELS, J. Quando o vírus está na semente. **Revista Cultivar**, n. 5, p. 34-36, 1999.
- EIRAS, M.; DIANESE, E. C.; PEREIRA-CARVALHO, R. C. Resistência Genética de Plantas a Vírus. In: DALLAGNOL, L. J. (Org.). **Resistência Genética: de Plantas a Patógenos**. Pelotas: Editora UFPel, p. 296-358, 2018.
- FAJARDO, T. V.; NICKEL, O. **Transmissão de vírus e controle de viroses em plantas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2019. 24 p. (Documentos, 110).
- PARISI, J. J. D. *et al.* Patologia de Sementes Florestais: Danos, Detecção e Controle, uma revisão. **Summa phytopathologica**, v. 45, n. 2, p. 129-133, 2019.
- PEREIRA, K. C. *et al.* O. Avaliação de óleos essenciais na qualidade sanitária e fisiológica em sementes e mudas de *Schinus molle*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 71-78, 2016.
- PEREIRA, R. B. *et al.* **Tratamento de sementes de hortaliças**. Distrito Federal: Embrapa Hortaliças, 2015. (Circular Técnica, nº 140).

REIS, E. M. *et al.* **Estratégias para a produção de material de progagação vegetal livre de patógenos.** Informativo Abrates, v. 19, n. 3, p. 19-36, 2009.

SANTOS, A. F.; ECKSTEIN, B.; MUNIZ, M. F. B.; CARMO, A. L. M.; AUER, C.G.; JACCOUD FILHO, D. S.; PARISI, J. J. D. Patologia de sementes de espécies florestais no Brasil. In: DALIO, R. J. D. **Revisão Anual de Patologia de Plantas.** 1ed. Brasília: RAPP, p.195-211. 2015.

SHARMA, K. K. *et al.* Seed treatments for sustainable agriculture: a review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 1, p. 521-539, 2015.

SILVA, F. H. A. **Qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) utilizadas no Rio Grande do Norte.** 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Rural federal do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

VECHIATO, M. H.; PARISI, J. J. D. Importância da qualidade sanitária de sementes de florestais na produção de mudas. **Biológico**, v. 75, n. 01, p. 27-32, 2013.

## CAPÍTULO 3 - FORMAS DE TRANSMISSÃO DE PATÓGENOS PARA SEMENTES

### 1. Transmissão Planta – Semente

A transmissão planta-semente pode ocorrer de diversas formas. Na literatura é possível encontrar mais informações sobre o grupo dos vírus, pelo fato de ser um patógeno de atuação sistêmica e pouco transmitido pela semente (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Para a maioria dos fungos e nematoides a contaminação da semente pode acontecer pelo homem, animais, insetos, respingos de chuva ou água de irrigação, ventos, entre outros, partindo de uma fonte externa contaminada (solo, outra planta hospedeira, ou mesmo a própria semente infectada que foi usada na semeadura) (MENDES; TEBALDI, 2011).

Aberturas naturais nas sementes, tais como hilo, tricas e ferimentos na parte superficial de origens diversas, acabam se tornando vias de contaminação de patógenos, sobretudo as bactérias (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Outra forma de transmissão de patógeno para o interior das sementes é mediante o sistema vascular de plantas atacadas ou através de órgãos fertilizadores, por exemplo, pode ocorrer infecção por fungo via transmissão sistêmica da mãe e estigma durante a floração, originando sementes contaminadas (MYCOCK; BERJAK, 1990).

No caso de frutíferas, a maioria das sementes está ligada a planta mãe dentro do fruto, e a contaminação de patógenos podem resultar da própria matriz, quando esta já está infectada, ou do fruto contaminado, atingindo posteriormente as sementes (SANTOS et al., 2015).

A forma de transmissão mais discutida é a por vírus, esta depende da combinação específica vírus-hospedeiro, da capacidade de movimentação dos tecidos vegetativos para os reprodutivos e embrionários, bem como a sobrevivência durante a maturação das sementes (CARD et al., 2007). Apesar dos embriões apresentarem elevada proteção contra a invasão de patógenos, alguns vírus conseguem superar as barreiras e se propagar através das sementes (BENNETT, 1969). Alguns vírus dos gêneros *Nepovirus*, *Hordeivirus*, *Potyvirus*, *Carmovirus*, *Comovirus*, *Bromovirus*, *Cucumovirus*, *Sobemovirus*, *Ilarvirus*, *Tobamovirus*, *Tobravirus*, dentre outros (LIMA et al., 2015). Todavia, pouco se sabe sobre

os mecanismos utilizados pelos vírus para que ocorra a transmissão da planta para a semente (WANG; MAULE, 1994).

Algumas hipóteses são exploradas sobre a baixa taxa de transmissão de vírus planta-semente. A primeira é que esse patógeno é incapaz de invadir o óvulo ou o embrião pelo isolamento dos mesmos, em termos de conexões plasmodésmicas, com os tecidos que estão ao redor. Uma outra hipótese seria que os vírus são incapazes de estabelecer uma relação compatível com os gametas ou o saco embrionário do hospedeiro. Outra justificativa seria que o vírus é letal aos gametas, causando esterilidade e impossibilitando a produção de sementes infectadas. Por fim, existe mais uma hipótese, que se baseia na incapacidade do vírus infectar gametas ou o embrião jovem por causa da ausência de virulência ao hospedeiro nessas fases, ou mesmo por conta da resistência de plantas nessas condições (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

No entanto, existem exceções, como o gênero *Tobamovirus*, que é passado para a geração seguinte pelo mecanismo de transmissão não embrionária, dessa forma, o vírus não infecta o interior da semente. As partículas virais ficam aderidas à superfície da semente, ficando ativas até que se inicie o processo da germinação (AMARI et al., 2009). Os vírus podem ainda infectar o interior das sementes durante o seu desenvolvimento (CARD et al., 2007) de forma direta e indireta (JOHASEN et al., 1994).

Além dessa forma, esse patógeno pode invadir o embrião no estágio de desenvolvimento, após a fertilização, mediante conexões citoplasmáticas que são formadas e mantidas, até certo período, entre as estruturas que formam as sementes e os tecidos da planta (ROBERTS et al., 2003). Outra forma ainda de infecção desse vírus é através de gametas contaminados antes da fertilização. As partículas virais se movimentam dos tecidos vegetativos para os reprodutivos quando o grão de pólen e/ou óvulo estão sendo formados, para após a fecundação formar o embrião (ISOGAI et al., 2015). Atualmente mais de 45 espécies de vírus conseguem infectar embriões mediante o grão de pólen infectado (CARD et al., 2007).

## **2. Transmissão Semente – Semente**

Os patógenos podem estar associados às sementes por três formas: aderidos à superfície; localizados internamente; e quando acompanham à semente (SANTOS; PARISI, 2015). Dessa forma, servem como meio de transmissão ou transporte de microrganismos

para outras sementes, constituindo assim, uma das principais formas de disseminação de patógenos de plantas (BENEDITO, 2012).

Os patógenos são classificados de acordo com sua localização nas sementes, podendo estar infestando ou infectando as sementes. No primeiro caso, os microrganismos ficam externamente misturados ou localizados na superfície, enquanto que no segundo caso, se encontram no interior infectando tecidos como cotilédones e embrião (Lucca Filho, 2006). Dentre os patógenos associados às sementes encontram-se os fungos, que representa o principal grupo a ocasionar danos, seguido pelas bactérias, vírus e nematoides, sendo os dois últimos grupos de menor impacto (SANTOS; PARISI, 2015).

As espécies fúngicas associadas às sementes podem ser agrupadas em fungos de campo ou de armazenamento, sendo que as espécies de campo contaminam as sementes antes da colheita, durante os estádios de crescimento e maturação. Já os fungos de armazenamento são associados às sementes após a maturação, nos procedimentos de colheita, beneficiamento e secagem e apresentam os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* como principais representantes (VECHIATO; PARISI, 2013).

A transmissão de patógenos via semente pode ocorrer de três formas: quando o patógeno se encontra na superfície da semente; por meio de patógenos que acompanham às sementes, em galhas, solos, etc; e quando estão localizados na parte interna da semente (MENTEN; MORAIS, 2010). Dessa forma, a associação patógeno-semente é capaz de permitir a sobrevivência do organismo contaminante, bem como a sua disseminação (MARINO; MESQUITA, 2009).

Tendo em vista isso, a semente contaminada acaba sendo um eficiente veículo para a dispersão, sobrevivência e transmissão de vários microrganismos (OLIVEIRA, 2015). O ideal seria que a semente estivesse isenta de qualquer patógeno, no entanto, nem sempre isso é possível, pois a qualidade sanitária das sementes é influenciada por vários fatores, como por exemplo, as condições climáticas nas quais as sementes são produzidas e armazenadas. Além disso, esse fator ainda sofre variação de ano para ano e de local para local (ZAMBIAZZI et al., 2017), dessa forma, a obtenção de sementes sadias não é tão simples.

Após a colheita, quando as sementes são levadas para o beneficiamento e/ou armazenamento, os patógenos presentes nas sementes contaminadas são disseminados para as sementes sadias (VECHIATO; PARISI, 2013). Essa contaminação pode ocorrer

ainda mediante o contato com máquinas e equipamentos que não foram limpos corretamente (FÁCCION, 2011).

O grande problema é que a maioria dos patógenos associados às sementes não são percebidos através da inspeção visual, e podem estar contaminadas por esporos (JACCOUD FILHO; DABUL, 2011), o que vai comprometer a qualidade do lote (BARROCAS; MACHADO, 2010).

Diante disso, é necessária a realização do tratamento de sementes com produtos fungicidas, que vão controlar a disseminação e transmissão de fungos por meio da semente (MACHADO, 2000). O tratamento de sementes é uma prática muito comum entre os produtores, na qual minimiza os danos de dispersão de microrganismos patogênicos (PARISI, 2019). Além de controlar a transmissão de patógenos, reduz também os prejuízos que estes podem provocar no vigor e germinação do lote. No entanto, a associação patógeno-semente nem sempre resultará na redução da qualidade fisiológica, pois alguns microrganismos podem estar presentes em tecidos vivos de algumas sementes e não causar sintomas de doenças, nem influenciar na qualidade fisiológica (BRITO et al., 2013). Todavia, mesmo não ocorrendo uma queda na qualidade, essa associação ainda a permanência e disseminação de microrganismos prejudiciais (VENTUROSO et al., 2015).

### **3. Transmissão Semente - Planta**

Como já citado anteriormente, as sementes são importantes veículos de disseminação de patógenos, que por sua vez, causam diversas doenças nas plantas cultivadas (Fanan, 2009). Quando os patógenos estão localizados no interior das sementes, há uma grande chance de serem transmitidos para as plântulas, no entanto, quando a contaminação é na superfície, os maiores danos se apresentam logo após a germinação (NEEGAARD, 1979). Além da localização do microorganismo na semente, outros fatores influenciam na transmissão para a plântula, tais como: severidade da infecção, tipo de inóculo (micélio, esporos, etc.), umidade, temperatura, vigor e genética de resistência do cultivar (MULLER, 2017). Caso a transmissão seja efetiva, a planta irá apresentar sintomas da doença, podendo inclusive ocasionar a sua morte (LAZAROTTO, 2010).

Os fungos são os principais agentes causadores de danos disseminados pelas sementes, permanecendo viáveis por longo período de tempo (SANTOS, 2011). A



transmissão desses patógenos podem provocar sintomas tanto na parte aérea como no sistema radicular (FIALLOS et al., 2012). Esses patógenos promovem tombamento de pré e pós-emergência, lesões nas raízes e cotilédones (SANTOS; PARISI, 2015), falhas na germinação, aparecimento de manchas necróticas em folhas e hastes, descoloração de tecidos, plantas mal desenvolvidas e menos produtivas (MARINO et al., 2008).

Na literatura, é possível encontrar alguns exemplos de fungos que estão associados às sementes e podem ser transmitidos para as plântulas, tais como: *Fusarium sp.*, *Colletotrichum dematium* (COPPO et al., 2017), *Alternaria*, *Phoma*, *Aspergillus* e *Phomopsis* (BOTELHO, 2008), *Penicillium sp.* (CATÃO et al., 2013), *Rhizopus sp.*, *Botrytis sp.* (MIGLIORINI et al., 2017), entre outros.

A taxa de transmissão de patógenos, além de ser influenciada pelo ambiente está relacionada a características inerentes ao patógeno e ao hospedeiro (SIQUEIRA et al., 2016). Tendo em vista isso, a determinação do fungo acaba sendo uma estratégia de controle (CASA et al., 2005), além disso, o uso de cultivares resistentes podem contribuir para a redução da doença (MIRANDA FILHO, 2010). Outras medidas de controle para patógenos associados e transmitidos pelas sementes podem ser adotadas, uma das mais importantes é a utilização de sementes certificada, que apresentam qualidade sanitária superior às sementes salvas (MONTEMOR et al., 2011).

É importante ressaltar que a simples incidência do fungo na semente não implica em sua transmissibilidade, dessa forma, não é garantido que ocorra a infecção da muda (GARCIA JUNIOR et al., 2008). A transmissão é influenciada pelas condições edafoclimáticas, quantidade de inoculo, e o tempo de sobrevivência do patógeno na semente (SARTORATO, RAVA, 2000). Os sintomas da transmissão também podem não aparecer durante a fase de estabelecimento da cultura, se apresentando apenas no final do ciclo da cultura (MULLER, 2017).

Outro grupo relevante são as bactérias, no entanto, a taxa de transmissão semente-planta desse patógeno é muito baixa, em torno de 1%, de modo que precisariam de 100 sementes para a ocorrência de uma planta contaminada. No entanto quando se considera que em cada hectare sejam semeadas 100.000 sementes, seriam totalizadas 1000 plantas infectadas, representando uma quantidade significativa (SCHAAD, 2001).

De forma geral, vários danos podem ser causados nas plantas devido à contaminação de sementes, por isso é importante a realização do teste de sanidade antes

da semeadura, a fim de observar a qualidade do lote e comprovar a relevância epidemiológica dos patógenos (FATINEL et al., 2017).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARI, K.; BURGOS, L.; PALLÁS, V. Vertical transmission of *Prunus* necrotic ringspot virus: hitch-hiking from gametes to seedling. **Journal of General Virology**, v. 90, n. 7, p. 1767-1774, 2009.
- BARROCAS, E. N.; MACHADO, J. C. Introdução a patologia de sementes e testes convencionais de sanidade de sementes para a detecção de fungos fitopatogênicos. **Informativo ABRATES**, v. 20, n. 3, 2010.
- BENEDITO, C. P. **Biometria, Germinação e Sanidade de Sementes de Jurema-preta (Mimosa tenuiflora Willd.) e Jurema-branca (Piptadenia stipulacea Benth.)**. 2012. 95p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2012.
- BENNETT, C. W. Seed Transmission of plant viruses. **Advances in Virus Research**, v. 14, p. 221-261, 1969.
- BOTELHO, L. S.; MORAES, M. H. D.; MENTEN, J. O. M. Fungos associados às sementes de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*): incidência, efeito na germinação e transmissão para as plântulas. **Summa Phytopathologica**, v. 34, n. 4, p. 343-348, 2008.
- BRITO, R. *et al.* Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária de sementes de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*) produzidas sob manejo orgânico e submetidas ao congelamento. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 131-140, 2013.
- CARD, S. D.; PEARSON, M. N.; CLOVER, G. R. G. Pollen transmission of plant pathogens. **Australasian Plant Pathology**, v. 36, p. 455-461, 2007.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590 p.
- CASA, R. T.; REIS, E. M.; MOREIRA, E. N. Transmissão de fungos em sementes de cereais de inverno e milho: Implicações epidemiológicas. In: ZAMBOLIM, L. **Sementes: qualidade fitossanitária**. Viçosa: UFV, p. 55-74. 2005.

CATÃO, H. C. R. M. *et al.* Incidência e viabilidade de sementes crioulas de milho naturalmente infestadas com fungos em pré e pós-armazenamento. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 764-770, 2013.

COPPO, J. C. *et al.* Sanidade e germinação de sementes de soja tratadas com extratos de plantas e de fungo. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 2, 2017.

FÁCCION, C. E. **Qualidade de sementes de feijão durante o beneficiamento e armazenamento**. 2012. 49p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FATINEL, V. S. *et al.* Fungos associados às sementes de *Acca sellowiana*: efeitos na qualidade fisiológica das sementes e transmissão. **Agrarian**, v. 10, n. 38, p. 328-335, 2017.

FIALLOS, F. G.; SILVA, W. M.; BENAVIDES, O. P. Germinação e qualidade sanitária de sementes de mucuna branca e preta utilizadas como adubo verde em Quevedo, Equador. **Scientia Agropecuaria**, v. 3, n. 1, p. 15-21, 2012.

GARCIA JUNIOR, D. *et al.* Relação entre a incidência de *Fusarium graminearum* em sementes, emergência e ocorrência de giberela em plântulas de trigo. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 4, p. 302-308, 2008.

ISOGAI, M. *et al.* Pollen tubes introduce Raspberry bushy dwarf virus into embryo sacs during fertilization processes. **Virology**, v. 484, p. 341-345, 2015.

JACCOUD FILHO, D. S.; PARISI, J. J. D. Patologia de sementes de espécies florestais no Brasil. In: DALIO, R. J. D. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. 1ed. Brasília: RAPP, p.195-211. 2015.

JOHANSEN, E.; EDWARDS, M. C.; HAMPTON, R. O. Seed transmission of viruses: current perspectives. **Phytopathology**, v. 32, p. 363-386, 1994.

LAZAROTTO, M. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cedro e patogenicidade de *Rhizoctonia* sp.** 2010. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa. Santa Maria, 2010.

LIMA, J. A. A. *et al.* Formas de transmissão de vírus de planta. In: LIMA, J. A. A. (Org.). **Virologia essencial e viroses em culturas tropicais**. Fortaleza: UFC, p. 87-136. 2015.

MACHADO, J. C. **Tratamento de sementes no controle de doenças**. Lavras: UFLA, 2000. 138p.

MARINO, R. H.; MESQUITA, J. B. Micoflora de sementes de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 252-256, 2009.

MARINO, R. H. *et al.* Incidência de fungos em sementes de *Phaseolus vulgaris* L. provenientes do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 26-30, 2008.

MENDES, L. S.; TEBALDI, N. D. *Pantoea ananatis*: Importância, isolamento, cultivo em meio de cultura, inoculação, sobrevivência, disseminação, penetração, colonização e controle para cultura do milho (*Zea mays* L). In: LUZ, W. C. **Revisão Anual Patologia de Plantas**, Passo Fundo: RAPP, p. 386-399, 2011.

MENTEN, J. O. MORAES, M. H. D. Tratamento de sementes: histórico, tipos, características e benefícios. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 3, p. 52-53, 2010.

MIGLIORINI, P. *et al.* Qualidade fisiológica, sanitária e transmissão de patógenos em sementes de canola. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. 3, p. 67-76, 2017.

MIRANDA FILHO, R. J. **Etiologia, epidemiologia e fisiologia da murcha de curtobacterium**. 2010. 116 f. Dissertação (Doutorado em Fitopatologia) Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

MONTEMOR, C.L.B. *et al.* Detecção de *Colletotrichum lindemuthianum* em sementes do banco de germoplasma de feijão da Universidade do Estado de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 1, p. 48-53, 2011.

MULLER, J. **Qualidade fisiológica e associação de *Fusarium* sp. a sementes de sorgo sacarino**. 2017. 96p. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

MYCOCK, D. J.; BERJAK, P. Fungal contaminants associated with several homoiohydrous (recalcitrant) seed species. **Phytophylactia**, v. 22, n. 1, p. 413- 418, 1990.

NEEGAARD, P. **Seed Pathology**. London: Mac Millan Press, 1979. 829p.

OLIVEIRA, E. F. **Etiologia, patogenicidade e caracterização molecular de fungos associados a sementes de plantas daninhas do cerrado**. 2015. 83 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2015.

PARISI, J. J. D. *et al.* Patologia de Sementes Florestais: Danos, Detecção e Controle, uma revisão. **Summa phytopathologica**, v. 45, n. 2, p. 129-133, 2019.

ROBERTS, I. M. *et al.* Pea seed-borne mosaic virus seed transmission exploits novel symplastic pathways to infect the pea embryo and is, in part, dependent upon chance. **Protoplasma**, v. 222, n. 1-2, p. 31-43, 2003.

SANTOS, A. F.; PARISI, J. J. D. Doenças em mudas e tipos de associações entre fungos e sementes florestais. In: SANTOS, A. F.; PARISI, J. J. D.; MENTEN, J. O. M. **Patologia de sementes florestais**. Colombo: Embrapa Florestas. 2015. 236p.

SANTOS, A. F.; PARISI, J. J. D.; MENTEM, J. O. M. **Patologia de sementes florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 236p.

SARTORATO, A.; RAVA, C. A. Patologia de sementes. In: VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C.A. **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. 2ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 201-215. 2000.

SCHAAD, N. W. Initial identification of common genera. In: SCHAAD, N. W.; JONES, J. B.; CHUN, W. (eds). **Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria**. St. Paul: American Phytopathological Society, p. 1-15. 2001.

SIQUEIRA, C. S. *et al.* Transmission of *Stenocarpella maydis* by maize seeds. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 2, p. 393-400, 2016.

VECHIATO, M. H.; PARISI, J. J. D. Importância da qualidade sanitária de sementes de florestais na produção de mudas. **Biológico**, v. 75, n. 1, p. 27-32, 2013.

VENTUROSOSO, L. R. *et al.* Inoculação de *Sclerotinia sclerotiorum* em sementes de oleaginosas: transmissão e seus efeitos sobre a emergência de plantas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 788-793, 2015.

WANG, D.; MAULE, A. J. A model for seed transmission of a plant virus: genetic and structural analyses of pea embryo invasion by pea seed-borne mosaic virus. **The Plant Cell**, v. 6, p. 777-787, 1994.

ZAMBIAZZI, E. V. *et al.* Desempenho agrônômico e qualidade sanitária de sementes de soja em resposta à adubação potássica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 543-553, 2017.

## **CAPÍTULO 4 – EFEITO DE PATÓGENOS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA E ANÁLISE DE IMAGENS DE RAIOS-X PARA AVALIAÇÃO SANITÁRIA DE SEMENTES**

### **1. Fungos**

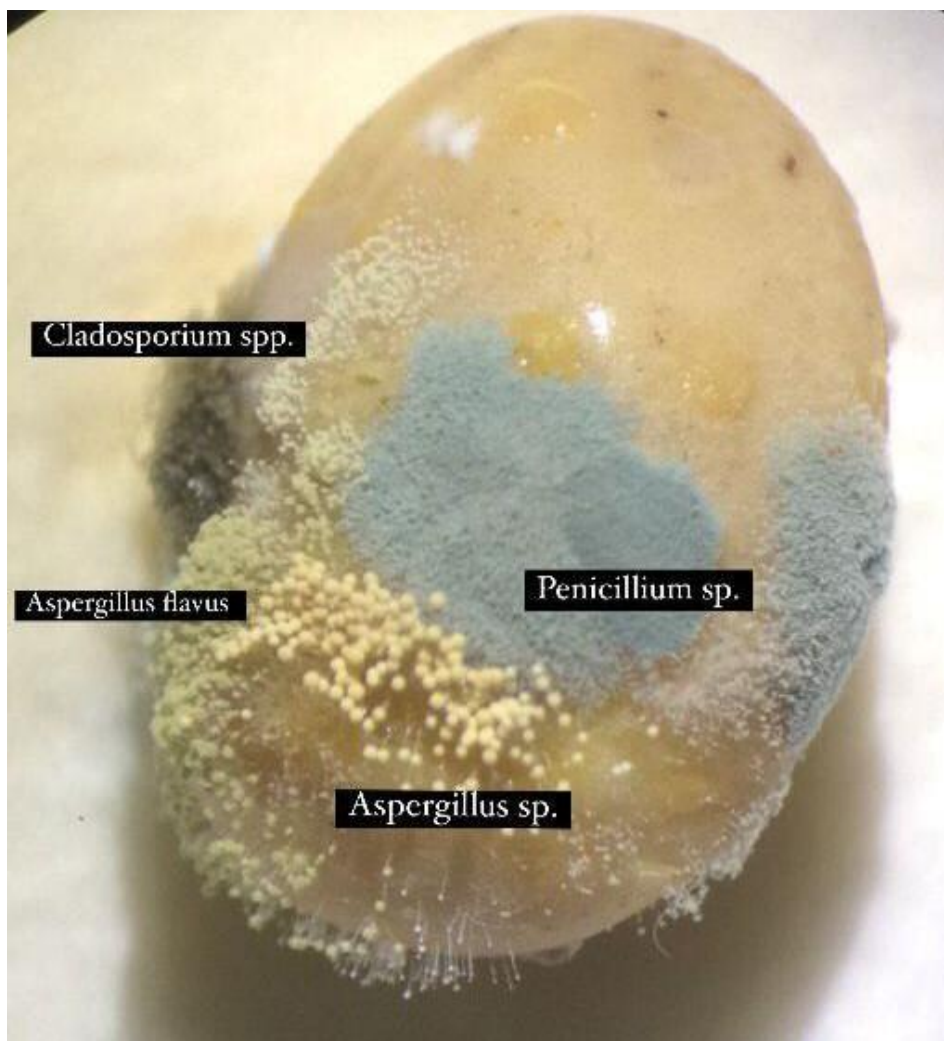
A diminuição do poder germinativo e do vigor das sementes é ocasionada por diversos patógenos (TALAMINI et al., 2010). Dentre eles, os fungos são os organismos de maior relevância na perda da qualidade fisiológica, pois disseminam doenças, promovem o apodrecimento das sementes no solo, deterioram durante o armazenamento e produzem micotoxinas (DHINGRA; ACUNA, 1997).

A contaminação por fungos em campo afeta tanto quantitativa quanto qualitativamente as sementes, pois causa aborto, redução do tamanho, podridão, esclerotização, necroses, descoloração, redução da viabilidade e perda do poder germinativo das sementes. Já durante o período de armazenamento os principais danos que ocorrem nas sementes são: redução na germinação; aumento da taxa de ácidos graxos; aquecimento da massa de sementes e produção de toxinas. No armazenamento, a perda da qualidade das sementes é ocasionada na maioria das vezes por espécies do gênero *Aspergillus* e *Penicillium* (LUCCA FILHO, 2007), sendo que a espécie *Aspergillus flavus* apresenta maior potencial destrutivo (HOCKING, 1991). Esses fungos depreciam significativamente a qualidade e vigor das sementes, pois causam colonização do embrião, descoloração e apodrecimento, ocasionando reflexos tanto na viabilidade como no valor comercial e nutritivo, gerando grandes prejuízos para o produtor (MACHADO, 1988).

Durante o período de armazenamento das sementes diversos fatores internos e externos estão relacionados à incidência de fungos e maior longevidade das sementes. Dentre esses fatores podem ser observados: grau de injúria mecânica; alta umidade das sementes; temperaturas e umidades do ar inadequadas; limpeza do local de armazenamento; entre outros (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

A contaminação de sementes por fungos origina diversas doenças nas plântulas (BIEMOND et al., 2013), tais como: tombamento; podridão de raízes e colo com conseqüente sintomas indiretos de deficiência nutricional; necrose das folhas; amarelecimento; murcha e morte do vegetal, que são causados por fungos como a

*Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* e *Fusarium solani* (IKRAM; DAWAR, 2013). Os fungos de armazenamento *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. interferem diretamente na germinação (Figura 1) e emergência de leguminosas, danificando o sistema radicular ou vascular das plântulas e conseqüentemente interferindo na absorção e transporte de água e nutrientes (GOMES et al. 2015; ROCHA et al., 2014).



**Figura 1.** Fungos de armazenamento, contaminantes ou saprófitas - visualizados em teste de patologia de sementes.

Fonte: RINALDI (2022).

Fungos de solo como *Fusarium* sp., *Colletotrichum* sp. e *Rhizoctonia solani* limitam a germinação e causam infecções no desenvolvimento inicial das plântulas. Já fungos como *Cercospora* sp., *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp., *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium cepivorum*, além de afetar a germinação e a emergência, causam infecções em estágios



mais avançados das plântulas, apresentando manchas foliares, murchas, podridão das raízes e caule e posteriormente a morte do vegetal (PEREIRA, 2015).

De forma geral, os sintomas de fungos nas sementes variam dependendo do tipo de fungo presente (Figura 1). Alguns dos sintomas mais comuns incluem:

- Manchas necróticas: Em alguns casos, como o ataque do fungo *Fusarium*, as sementes apresentam manchas necróticas em seu tegumento (HERNÁNDEZ et al., 2020).
- Manchas de coloração roxa: Outros fungos, como o *Cercospora kikuchii*, causam manchas típicas de coloração roxa nas sementes, embora nem todas as sementes com esse tipo de sintoma apresentado pelo fungo (HERNÁNDEZ et al., 2020).
- Aborto de sementes: Alguns fungos, como os carvões (*Ustilago* spp.), causam o aborto de sementes, diminuindo a quantidade e a qualidade das sementes (PESKE, 2012).
- Redução do tamanho das sementes: Outros fungos, como *Alternaria brassicicola* e *Phoma lingam* em brassicáceas, *Stagonospora nodorum* em trigo e *Drechslera teres* em cevada, causam redução do tamanho das sementes (PESKE, 2012).
- Podridão de sementes: Alguns fungos, como o ataque do fungo *Fusarium*, causam podridão das sementes, diminuindo o vigor e a qualidade das plantas emergentes (PESKE, 2012).

Para identificar fungos em sementes, é importante realizar testes laboratoriais e utilizar técnicas específicas. Algumas das abordagens mais utilizadas incluem:

- Técnica de mata-borrão: Essa técnica permite a identificação de fungos específicos em sementes, utilizando uma suspensão de semente para revelar os patógenos presentes (HENNING, 2015).
- Técnica de imunofluorescência: Essa técnica utiliza anticorpos específicos para detectar e identificar fungos em sementes (HENNING, 2015).
- Análise morfológica: Uma observação de características morfológicas dos fungos, como formação de esporos, tecido de parede celular, pigmentação, permite a identificação e diferenciação entre diferentes espécies de fungos (HENNING, 2015).
- Genética molecular: Técnicas de genética molecular, como PCR e sequenciamento de genes de fungos, podem ser utilizadas para detectar e identificar fungos específicos em sementes (HENNING, 2015).

Além dessas técnicas, é importante possuir um conhecimento detalhado dos fungos que afetam as sementes e suas características morfológicas, biológicas e genéticas para facilitar a identificação e o diagnóstico preciso dos patógenos.

## 2. Bactérias

A contaminação por bactérias ocasiona principalmente o apodrecimento das sementes no momento da germinação e a morte de plântulas ainda nos estágios iniciais de desenvolvimento, além disso, as bactérias também produzem descoloração do tegumento das sementes (Figura 2) (LUCCA FILHO, 2007).



**Figura 2.** Sintomas de *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *Flaccumfaciens* em feijão.

Fonte: FERREIRA (2021).

Durante o armazenamento as bactérias reduzem tanto a germinação quanto o vigor das sementes, alguns exemplos dessas bactérias são as *Xanthomonas* sp., *Pseudomonas* sp., *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* e *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis* (PEREIRA, 2015).

De forma geral, os sintomas de bactérias nas sementes podem ser causados por diferentes espécies de bactérias que afetam as plantas. Alguns exemplos de doenças bacterianas e seus sintomas incluem:

- Murcha-bacteriana: Causada por *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*, resulta na murcha total ou parcial das plantas, provocando a queda de frutos (EMBRAPA, 2023).

- Pinta-bacteriana: Causada por *Ralstonia solanacearum*, caracterizada por manchas necrosas em folhas e frutos, sendo mais visíveis nos frutos, onde forma visíveis negras e superficiais (EMBRAPA, 2023).
- Necrotrofia subcuticular: Causada por *Colletotrichum* spp., caracterizada pela necrose de partes das raízes, estômatos e vasos condutores, com sintomas externos como clareamento de nervuras, amarelecimento de folhas, murcha de folhas e brotação, necrose marginal nas folhas, queda de folhas, flores e frutos, e aparecimento de raízes adventícias (SILVA et al., 20217).
- Germinação precoce: Causada por *Erwinia* spp., caracterizada pela germinação precoce das sementes, resultando em plantas de baixa qualidade e redução do rendimento (SILVA et al., 20217).
- Crestamento-bacteriano-comum (CBC): Causado por *Xanthomonas phaseoli* pv. *phaseoli*, afetando principalmente as partes aéreas das plantas, iniciando-se por pequenas manchas úmidas na face inferior das folhas, que aumentam de tamanho e coalescem, formando extensas áreas pardas, necrosadas. As sementes infectadas podem apresentar-se descoloridas, enrugadas ou simplesmente não apresentar sintomas visíveis (Figura 3) (FERREIRA, 2021).



**Figura 3.** Sintomas de Crestamento-bacteriano-comum em sementes.

Fonte: Ferreira (2021).

Para identificar bactérias nos sentimentos, é importante realizar exames laboratoriais para um diagnóstico correto, pois os sintomas iniciais podem ser confundidos com outras doenças causadas por fungos ou vírus. Alguns métodos de detecção e identificação de bactérias em sementes incluem:

- Isolamento de bactérias e identificação: Realização do isolamento de bactérias e sua posterior identificação, sendo um método de detecção de bactérias em sementes (BRASIL, 2009).
- Exame microscópico: Exames microscópicos com KOH, tinta nanquim, coloração de Gram, entre outros, podem ser usados para identificar micro-organismos associados à infecção ou com propósitos epidemiológicos (BRASIL 2013).
- Testes biológicos, biofísicos ou bioquímicos: incluem métodos como o de planta em crescimento, ensaio de campo, inspeção do campo de produção de sementes, entre outros, que estão relacionados com as restrições de quarentena de sementes, certificação para comercialização e tratamento de sementes.

Além disso, é importante ressaltar que muitas das bactérias fitopatogênicas permanecem viáveis pelo mesmo período de probabilidade das sementes, e a semente infectada pode ou não apresentar sintomas. Portanto, a realização de exames laboratoriais é fundamental para um diagnóstico preciso.

Para prevenir e controlar essas doenças, é importante usar sementes de boa qualidade, evitar o excesso de água de supervisão, realizar o plantio em áreas isoladas de campos mais velhos atacados pela doença e usar cultivares resistentes à doença. Além disso, é fundamental realizar exames laboratoriais para o diagnóstico correto, pois os sintomas iniciais podem ser confundidos com outras doenças causadas por fungos ou vírus.

### **3. Vírus**

Em campo, os vírus causam o aborto de sementes, no entanto, quando é transmitido para o embrião, promove redução da viabilidade, principalmente em espécies leguminosas. Os vírus também causam alterações morfológicas e descoloração do tegumento, depreciando as sementes (LUCCA FILHO, 2007).

De forma geral, os sintomas do vírus nas sementes variam dependendo da espécie do vírus e da planta afetada. Alguns sintomas comuns incluem:

- Morrimento precoce: As plantas podem apresentar um morimento precoce, resultando em uma redução na produção de sementes (DANIELS, 2015).
- Necrose: As folhas podem apresentar manchas necrosadas, diminuindo a presença de vírus (DANIELS, 2015).
- Outros sintomas: Dependendo da espécie do vírus, os sintomas podem incluir manchas claras ou escuras, deformações das folhas, enrijecimento das flores, entre outros (ÁVILA et al., 2009).
- Mosaico: As folhas apresentam uma mosaicagem suave, alternada com embolamento, rugosidade, amarelecimento e crescimento reduzido da planta (EMBRAPA, 2023). Em sementes de soja, por exemplo, o mosaico comum da soja pode apresentar manchas escuras a partir do hilo (Figura 4).



**Figura 4.** Sintomas causados pelo vírus do mosaico comum da soja.

Fonte: Manual de boas práticas de classificação de soja (2023).

Para identificar sintomas de vírus em sementes, é importante ressaltar que muitas vezes os sintomas não são aparentes, e as plantas doentes podem produzir menos ou ter sua produção completamente comprometida. Além disso, os sintomas variam dependendo da combinação de virulência do isolado/estirpe, cultivar/espécie, da idade em que a planta foi infectada e de condições.

Para detectar a presença de vírus, é necessário realizar testes laboratoriais, como técnicas sorológicas, que permitem a detecção e/ou o diagnóstico pré-sintomático, a quantificação de inóculos, a programação de tratamentos químicos e a determinação de espécies e de estirpes de vírus. Outros métodos incluem o isolamento de bactérias e identificação, exames microscópicos, testes biológicos, biofísicos ou bioquímicos.

Para prevenir a propagação do vírus em sementes, é importante realizar testes sanitários de sementes, utilizar sementes de boa qualidade e controlar os insetos vetores com produtos adequados. Além disso, é fundamental adotar medidas preventivas, como o isolamento das plantações de culturas afetadas, o controle do vetor de insetos e a utilização de cultivares resistentes.

#### **4. Nematóides**

A contaminação por nematoides acontece pela aderência à superfície das sementes ou mediante restos contaminados da planta mãe. No momento da semeadura podem ser disseminados para áreas novas causando danos econômicos durante o cultivo da cultura (PEREIRA 2015).

De forma geral, os sintomas de nematóides nas sementes podem incluir uma série de manifestações que afetam o sistema radicular das plantas. Alguns dos sintomas observados incluem:

- Redução do sistema radicular: O sistema radicular pode ficar limitado e infestado por minúsculas fêmeas de coloração branca, conhecidas como cistos (DIAS et al., 2010).
- Manchas em reboleiras e redução do crescimento das plantas: Na parte aérea da planta, podem ser observadas manchas em reboleiras e redução do crescimento das plantas (DIAS et al., 2010).
- Lesões escuras nas raízes: As plantas parasitadas pelo nematóide das lesões radiculares podem apresentar lesões escuras em suas raízes, muitas vezes associadas a fungos de solo, como os do gênero *Fusarium* (EMBRAPA, 2006).
- Presença de galhas e massa de ovos: A presença de galhas e massa de ovos nas raízes também pode ser um sintoma da presença de nematóides (EMBRAPA, 2006).

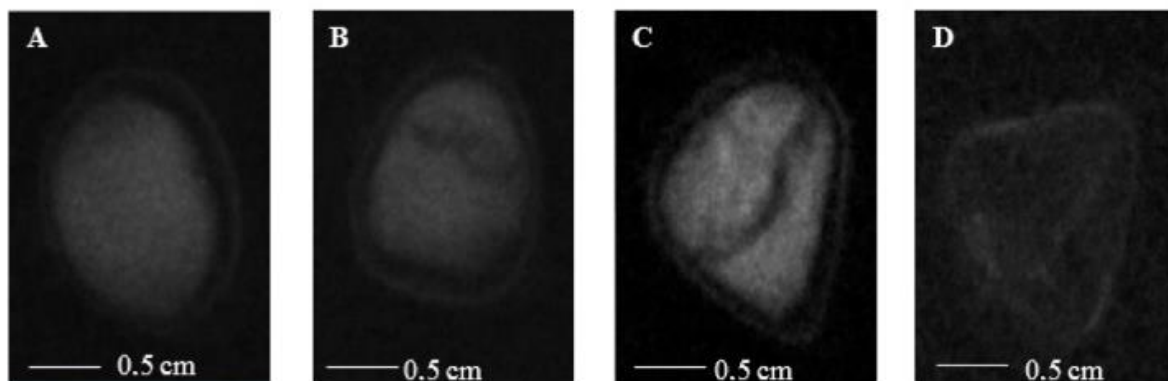
Esses sintomas podem variar dependendo do tipo de nematóide presente e da interação com outros organismos do solo. O tratamento de sementes é uma estratégia importante para suprimir os nematóides durante as primeiras semanas após a semeadura, protegendo as plântulas e permitindo um desenvolvimento adequado do sistema radicular.

## **5. Imagens de raio-x para análise sanitária de sementes**

Diante de tantos efeitos negativos de patógenos na qualidade de sementes, a análise de imagem é uma alternativa que tem apresentado eficiência e rapidez para avaliação dos componentes morfológicos que estão relacionados com a fisiologia, crescimento e desenvolvimento das plântulas. Um método utilizado na análise de imagens é o raio-x, que permite visualizar o tegumento, endosperma, cotilédones e embrião, podendo auxiliar ainda na identificação do rompimento do tegumento, deterioração dos cotilédones, mal formação embrionária, dentre outras características que apontam lotes mais vigorosos (SILVA et al., 2013; MARCOS FILHO et al., 2010).

Além disso, técnica de raio-x é um método no qual não destrói o material estudado e possibilita observar sementes cheias, vazias, mal formadas e com danos mecânicos ou ataque de insetos e fungos (SIMAK; GUSTAFSSON, 1953). No entanto, como desvantagem, as imagens de raios-x podem apresentar erros, devido às interpretações subjetivas do analista, dificultando o processo de análise das culturas (MEDEIROS et al., 2018).

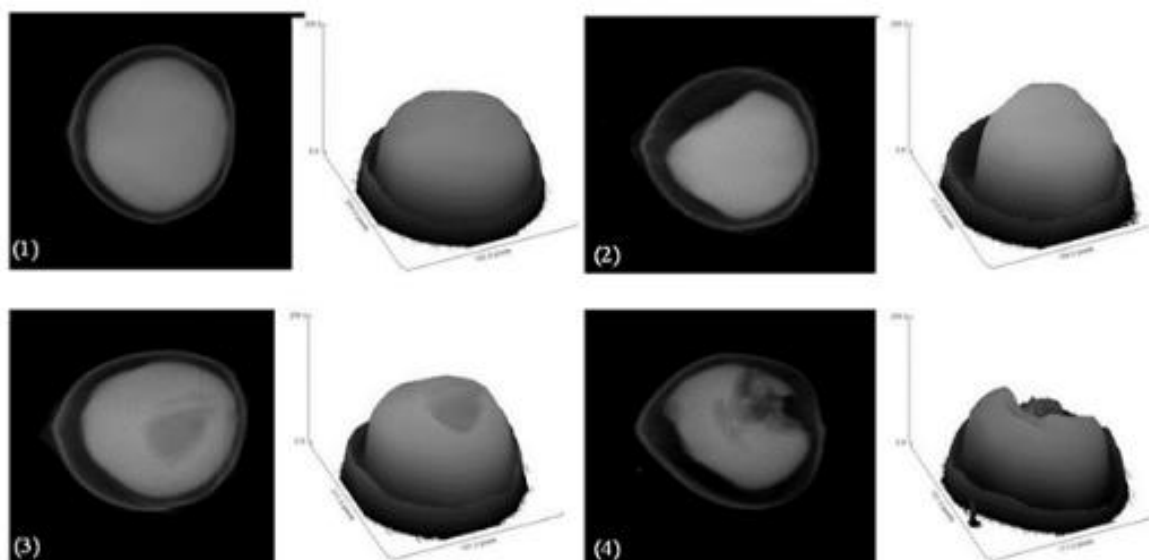
Alguns estudos têm evidenciado em imagens de raios-x contaminação por fungos em sementes. Noronha et al. (2018) observaram que sementes de *Moringa oleífera* manchadas que originaram plântulas anormais, poderiam estar relacionadas à presença de fungos (Figura 5).



**Figura 5.** Imagens de raios X de moringa no programa ImageJ e a classificação das sementes baseada nas diferenças entre as áreas da cavidade interna preenchida: cheia e bem formada (A), manchada (B), com danos físicos (C) e vazia (D).

Fonte: Noronha et al. (2018).

Em outro estudo realizado por Vasconcelos et al. (2019), com sementes de *Moringa oleífera*, é possível verificar também a presença de manchas (Figura 6). No entanto, a germinação apresentou as maiores taxas, possivelmente porque os danos observados ao longo do cotilédone não afetaram a germinação das sementes de moringa.



**Figura 6.** Imagens radiográficas da morfologia interna de sementes de *Moringa oleífera* Lam. (1) = cheia e bem formada. (2) = com espaço e mal formada; (3) = manchas; (4) = com dano.

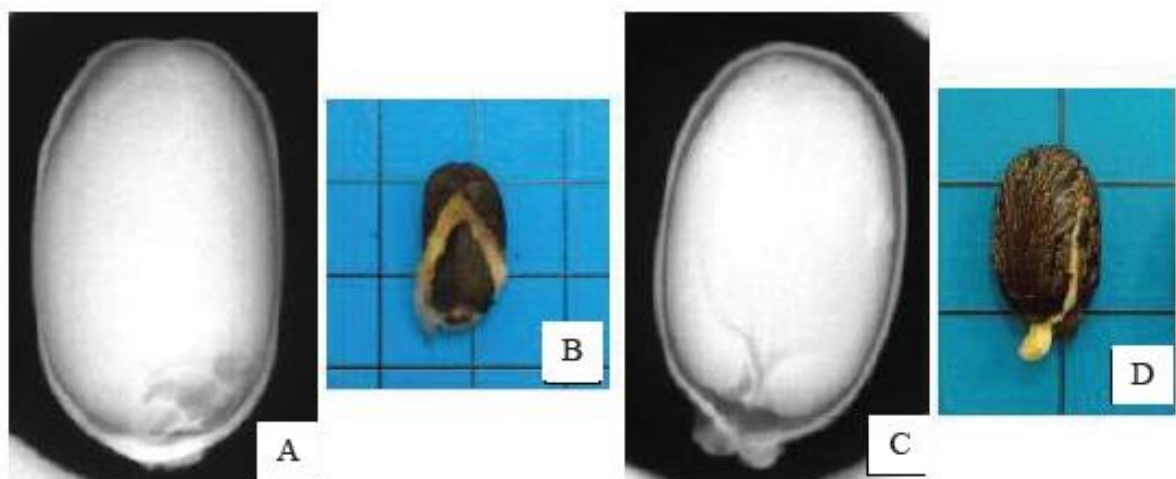
Fonte: Vasconcelos et al. (2019).



Os autores concluíram que as manchas observadas na maioria das sementes de moringa estão relacionadas a pequenas alterações na formação de cotilédones, não comprometem a germinação e que podem estar relacionadas à presença de fungos nas estruturas internas das sementes. No teste de sanidade das sementes de moringa foi possível perceber contaminação pelos fungos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp. e *Phomopsis* sp.

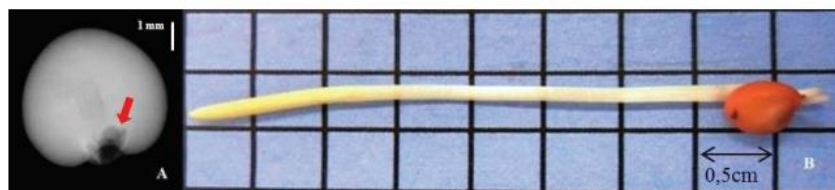
Kobori et al. (2012), estudando sementes de mamona, encontraram resultados parecidos, onde sementes cheias e manchadas, com injúria no eixo embrionário, em alguns casos, não germinaram ou originaram plântulas anormais, com defeito na raiz primária (Figura 7).

Javorski e Cicero (2017) em experimento com sorgo híbrido observaram em imagens de raio-x que manchas escuras nos tecidos das sementes correspondiam a tecidos deteriorados. Na figura 8A, o dano encontrava-se na região da radícula originando uma plântula apenas com a parte aérea desenvolvida (Figura 8B). Já na figura 9A a deterioração se apresentou na região da plúmula e em maior extensão no eixo embrionário na figura 9C, provocando nas duas situações a morte das sementes (Figuras 9B e 9D). Os autores afirmaram ainda que esses danos geralmente são decorrentes de condições ambientais adversas no campo, após a semente atingir o ponto de maturação fisiológica, sendo muitas vezes ocasionados pela incidência de fungos.



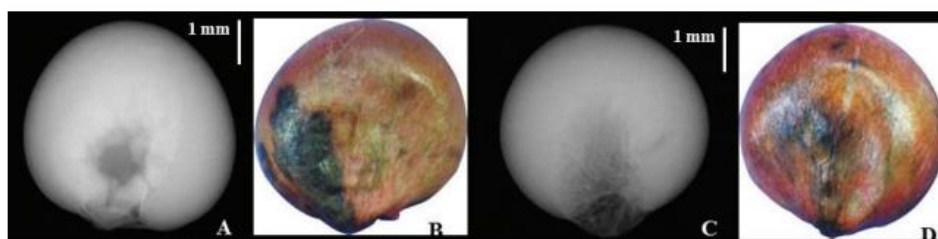
**Figura 7.** Imagens radiográficas de sementes de mamona classificadas como cheia e manchada – CM (A e C), com dano próximo ao eixo embrionário, resultando em uma semente morta (B) e uma plântula anormal (D).

Fonte: Kobori et al. (2012).



**Figura 8.** Imagem radiográfica de sementes de sorgo do híbrido 50A70, apresentando dano por deterioração de tecidos na região da radícula (A), originando plântula anormal (B).

Fonte: Kobori et al. (2012).



**Figura 9.** Imagem radiográfica de sementes de sorgo do híbrido 50A70, apresentando dano por deterioração de tecidos na região da plúmula (A) e na maior parte do eixo embrionário (C), resultando em semente morta (B e D). Fonte: Javorski e Cicero (2017).

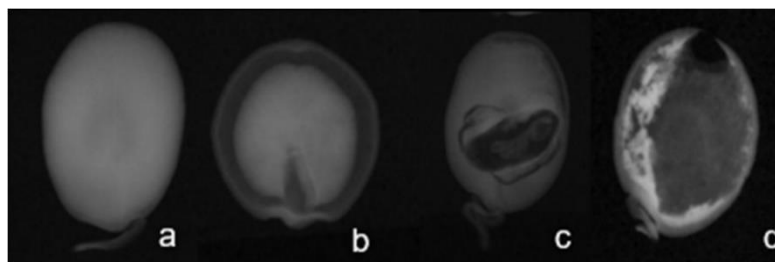
Fonte: Kobori et al. (2012).

Com a cultura do girassol, Rocha (2012) verificou que em algumas imagens de trincas ou fissuras dos cotilédones era possível observar também manchas escuras associadas a tecidos deteriorados. A autora concluiu que o dano mecânico acaba constituindo uma via de acesso à incidência de fungos e conseqüentemente a deterioração dos tecidos de reserva das sementes (Figura 10).



**Figura 10.** Imagem radiográfica de sementes de girassol, com ausência de dano na região do eixo embrionário e dano mecânico e tecido deteriorado não severo na região dos cotilédones (a), originando plântula anormal (b). Fonte: Rocha (2012).

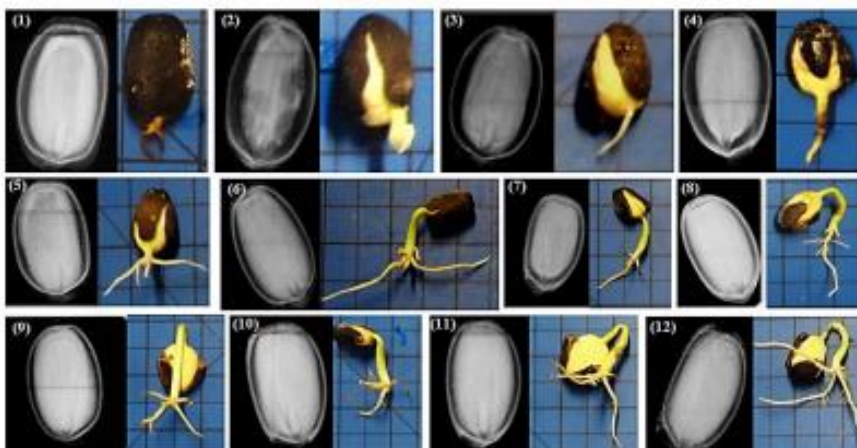
Observando imagens radiográficas de sementes de *Senegalia polyphylla*, Gibbert et al. (2019) concluíram que os danos (por insetos e fungos) resultam na diminuição do tecido de reserva das sementes e, portanto, as sementes tendem a ter menor energia para a germinação. Além disso, a localização do dano está diretamente relacionada com a germinação ou não da semente, bem como na formação de plântulas normais (Figura 11).



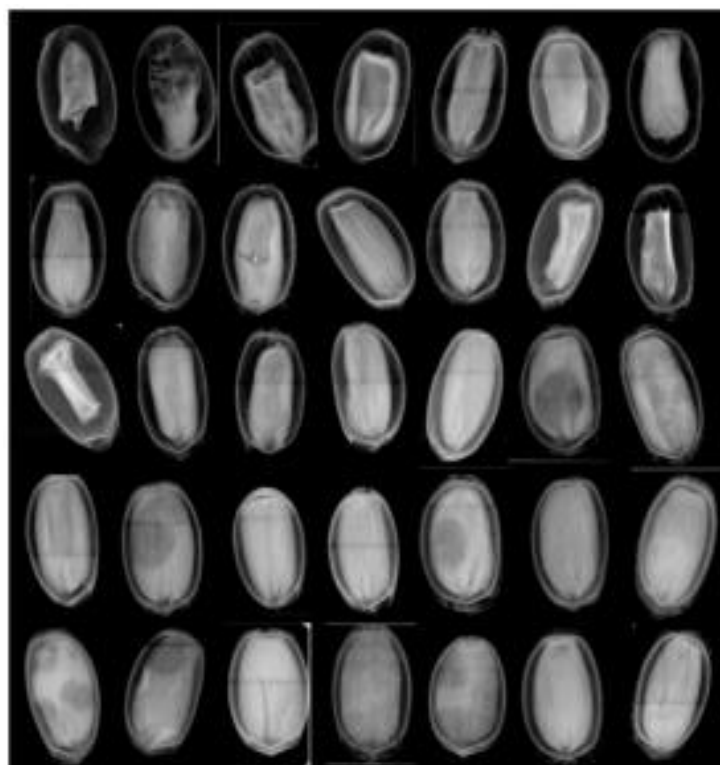
**Figura 11.** Radiografia das categorias de sementes de *Senegalia polyphylla* : (a) sementes completas, (b) malformadas, (c) com pequenos danos e (d) vazias.

Fonte: Gibbert et al. (2019).

Analisando sementes de *Jatropha curcas*, Virgens (2014) verificou que Sementes com regiões escurecidas apresentavam elevada relação com as sementes que não germinaram e algumas mesmo germinando originaram plântulas anormais (Figura 12 e 13). A autora justificou que as manchas escurecidas poderiam ser sinais de deterioração ou até presença de patógenos, especificamente fungos. Nas imagens contidas na figura 12 é possível visualizar as plântulas com má formação da raiz, presença de raízes e hipocótilo atrofiados e/ou necrosado. Nas imagens das sementes que não germinaram durante o teste de germinação pôde ser visualizada a presença de sementes aparentemente vazias, parcialmente vazias, com defeito no embrião ou presenças de manchas (Figura 13).



**Figura 12.** Padrão de imagens radiográficas das sementes de *Jatropha curcas* L. que originaram plântulas anormais. (1) a (4) Má formação da raiz; (4) Hipocótilo atrofiado e necrosado; (5) a (10) Presença de raízes necrosadas e (11) e (12) Hipocótilo necrosado. Fonte: Virgens (2014).

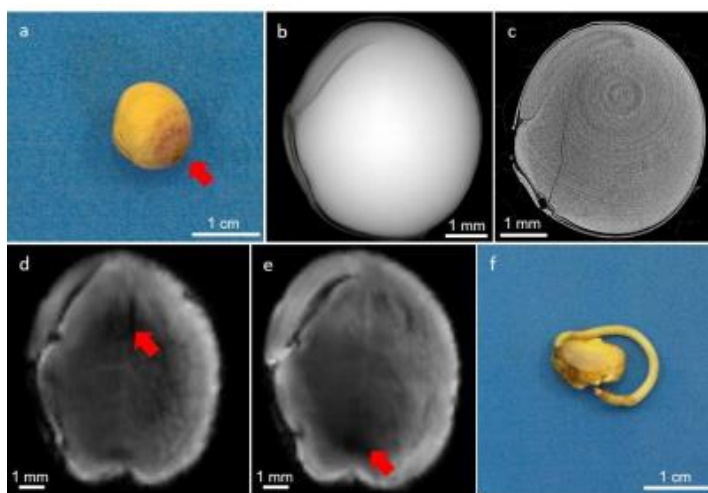


**Figura 13.** Padrão de imagens radiográficas das sementes dos três genótipos de *Jatropha curcas* L. avaliados que não germinaram durante o teste de germinação. Sementes parcialmente vazias, com defeito no embrião ou presenças de manchas. Fonte: Virgens (2014).

Um aspecto importante nesse trabalho foi que nem todas as plântulas avaliadas como anormais apresentaram imagens de raio-x que indicasse anormalidade na semente

ao passo de comprometer o desenvolvimento das plântulas. Sendo possível afirmar que algumas anormalidades verificadas em teste de germinação conduzidos em laboratório podem não refletir a realidade de campo, como por exemplo, o aparecimento de fungos que após a semente germinar pode inviabilizar o desenvolvimento normal das plântulas, pois deterioraram os tecidos e a plântula não cresce como deveria. Necrose nas raízes e tombamento de hipocótilo também por necrose do tecido nesta região foi, por exemplo, deformações verificadas durante o teste de germinação em função da incidência de fungos, mas que as imagens radiográficas demonstraram que as sementes estavam sadias. Este aspecto pode ser visualizado, por exemplo, nas imagens de (8) a (12) da figura 12.

Em alguns casos, no entanto, a infecção por patógenos não pode ser observada em imagens de raios-x, como por exemplo, no trabalho com sementes de soja e milho desenvolvido por Capelaro (2017). O autor verificou visualmente a presença da doença mancha púrpura, causada pelo fungo *Cercospora kikuchii* nas sementes de soja (Figura 14A), entretando, nas imagens de raios-x não foi possível identificar injúrias presentes no interior da semente (Figura 14B). Ao se analisar a imagem obtida por microtomografia computadorizada de raios-x (Figura 14C), também não foi possível perceber danos na semente. Já com imagens obtidas por ressonância magnética da semente (Figuras 14D e E) verifica-se manchas escuras na região dos cotilédones, provavelmente, relacionadas à deterioração dos tecidos por causa do fungo. Após a germinação a mesma semente originou uma plântula anormal (Figura 14F).



**Figura 14.** Imagem externa da semente (a); imagen radiográfica (b), de micro-TC (c) e de IRM (d, e) da semente de soja e a respectiva plântula anormal. Fonte: Capelaro (2017).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁVILA, A. C. *et al.* **Ocorrência de vírus em batata em sete estados do Brasil.** Horticultura Brasileira, v. 27, n. 4, p. 490-497, 2009.

BIEMOND, P. C. *et al.* Does the informal seed system threaten cowpea seed health? **Crop Protection**, v. 43, p. 166-174, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária Microbiologia Clínica para o Controle de Infecção Relacionada à Assistência à Saúde. **Módulo 8: Detecção e identificação de fungos de importância médica** /Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa, 2013. 46p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Análise Sanitária de Sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 200 p.

CAPELARO, L. S. **Utilização de técnicas de análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes de soja e milho.** 2017. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Piracicaba, 2010.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590 p

DANIELS, J. **Quando o vírus está na semente.** Revista cultivar. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/quando-o-virus-esta-na-semente>. Acesso em: 22/11/2023.

DHINGRA, O. D.; ACUNA, R. S. **Patologia de sementes de soja.** Viçosa: UFV, 1997. 119 p.

DIAS, W. P. *et al.* **Nematóides em soja: identificação e controle.** Embrapa, Circular Técnica, n. 76, 2010. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO-2010/30766/1/CT76-eletronica.pdf> >, acesso em: 22/11/2023.

EMBRAPA. **Cultivo de Tomate para Industrialização.** Sistemas de Produção, 1 - 2ª Edição, 2006. Disponível em: [https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2ed/doencas\\_nema.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/doencas_nema.htm). Acesso em: 22/11/2023.

EMBRAPA. **Web Content Display.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/hortalicas/tomate-de-mesa/doencas-causadas-por-bacterias>. Acesso em: 21 nov. 2023.

FERREIRA, A. W. **Doenças bacterianas.** Embrapa arroz e feijão, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/doencas/doencas-bacterianas>. Acesso em: 21 nov. 2023.

GIBBERT, P. *et al.* Seed Quality Evaluation of *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, p. 1-9, 2019.

GOMES, F. L. *et al.* Qualidade sanitária de sementes crioulas de *Phaseolus vulgaris* L., procedentes de bancos de sementes comunitários. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2015.

HENNING, A. A. **Guia prático para identificação de fungos mais frequentes em sementes de soja.** Brasília: Embrapa, 2015. 33 p

HERNÁNDEZ, V. G. *et al.* Variabilidade patogênica de populações multiespóricas e monospóricas de *C. lindemuthianum* em plântulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 88300–88315, 2020.

HOCKING, A. D.; BANKS, J. H. Effects of phosphine fumigation on survival and growth of storage fungi in wheat. **Journal of Stored Products Research**, v. 27, n. 2, p. 115-120, 1991.

IKRAM, N.; DAWAR, S. Effect of *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. in the control of root rot fungi of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) and mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek). **Pakistan Journal of Botany**, v. 45, n. 2, p. 649-654, 2013.

JAVORSK, M.; CICERO, S. M. Utilização de raios x na avaliação da morfologia interna de sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 310-318, 2017.

KOBORI, N. N.; CICERO, S. M.; MEDINA, P. F. Teste de raios X na avaliação da qualidade de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 125-133, 2012.

LUCCA FILHO, O. A. **Patologia de Sementes.** Brasília: ABEAS, 2007. 63p.

MACHADO, J. C. **Tratamento de sementes: fundamentos e aplicações.** Brasília: MEC-ESAL-FAEPE, 1988. 106p.

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS DE CLASSIFICAÇÃO DE SOJA. Disponível em: <https://classificacaodesoja.com.br/detalhamento-dos-parametros>. Acesso em: 23/11/2023.

MARCOS-FILHO, J. *et al.* Using tomato analyzer software to determine embryo size in x-rayed seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 146-153, 2010.

MEDEIROS, A. D. *et al.* Parameters based on x-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 1-10. 2018.

NORONHA, B. G.; MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. D. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 393-402, 2018.

PEREIRA, R. B. *et al.* **Tratamento de sementes de hortaliças**. Distrito Federal: Embrapa Hortaliças, 2015. (Circular Técnica, nº 140).

PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.R.M. **Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos**. 3ª edição. Pelotas: Editora rua Pelotas, 2012. 573p.

RINALDI, L. K. **Fungos de armazenamento, contaminantes ou saprófitas**. Disponível em: [https://www.linkedin.com/posts/luanna-karoline-rinaldi-44b363a1\\_sementes-armazenagem-teste-activity-6976143111362109440-qbB0/?trk=public\\_profile\\_like\\_view&originalSubdomain=pt](https://www.linkedin.com/posts/luanna-karoline-rinaldi-44b363a1_sementes-armazenagem-teste-activity-6976143111362109440-qbB0/?trk=public_profile_like_view&originalSubdomain=pt). Acesso em: 23/11/2023.

ROCHA, C. R. M. **Avaliação da qualidade de sementes de girassol por meio de análise de imagens**. 2012. 68p.

ROCHA, F. S. Danos causados por diferentes potenciais de inóculo de *Aspergillus ochraceus* no vigor de sementes de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 2895-2903, 2014.

SILVA, D. D. *et al.* Life styles of Colletotrichum species and implications for plant biosecurity. **Fungal Biology Reviews**. v. 31, p. 155-168, 2017.

SILVA, V. N. *et al.* *Acca sellowiana* O. Berg seed morphology evaluation by image analysis. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1158-1169, 2013.

SIMAK, M.; GUSTAFSSON, Å. X-ray photography and sensitivity in Forest tree species. **Hereditas**, v. 39, n. 3-4, p. 458-468, 1953.



TALAMANI, V. *et al.* **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) produzidas por agricultores familiares em Sergipe.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 87p.

VIRGENS, I. O. **Morfofisiologia, radiografia e bioquímica de sementes de *Jatropha curcas* L. sob estresses abióticos.** 2014. 154p. Tese (Doutorado em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas) Universidade Federal da Bahia, 2014.

## **CAPÍTULO 5 - MÉTODOS DE CONTROLE DE PATÓGENOS EM SEMENTES**

As sementes contaminadas por esses patógenos não só representam um ponto de propagação de micro-organismos e causam uma redução na produtividade (PEREIRA et al., 2015), mas também sofrem uma deterioração na qualidade fisiológica. Isso compromete a germinação e o vigor devido à degradação dos tecidos embrionários, podendo resultar em mortes durante a pré-emergência da plântula, tombamentos, podridões radiculares, manchas necróticas em folhas, caules, frutos e sistema vascular, juntamente com deformidades, descolorações e infecções latentes (SENEME et al., 2019).

Diante desse quadro, é fundamental realizar o tratamento das sementes para minimizar os danos causados pelos agentes patogênicos. Esses tratamentos podem ser classificados como químicos, físicos e biológicos. Além disso, há outras abordagens que oferecem benefícios, como condicionamento osmótico, peletização, peliculização, uso de inoculantes, aplicação de micronutrientes, e emprego de reguladores de crescimento, entre outras técnicas (PEREIRA et al., 2015).

### **1. Tratamento químico**

O método mais amplamente adotado para o tratamento de sementes no Brasil é o químico, sendo que praticamente 100% das sementes são submetidas a esse método (PIAS, 2014). Esse tipo de tratamento envolve a aplicação de ingredientes químicos, como fungicidas, antibióticos ou nematicidas comerciais, que suprimem ou controlam patógenos (CARVALHO et al., 2019).

Para que o tratamento químico seja eficaz no controle de patógenos nas sementes, o produto deve atender a uma série de requisitos, como ser tóxico para os patógenos, não ser fitotóxico, não se acumular no solo, apresentar alta persistência nas sementes, ter grande capacidade de aderência e cobertura, ser eficaz em diversas condições agroclimáticas, ser seguro para o manuseio humano, não deixar resíduos prejudiciais na planta e ser economicamente viável (PINTO, 2007).

Em termos gerais, o tratamento químico de sementes é direcionado principalmente para o controle de fungos, seguidos por bactérias e nematoides. Esses produtos são comercializados em formulações de pó seco, pó molhável e emulsão, e são classificados como protetores e sistêmicos (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Os produtos químicos têm se mostrado eficientes, especialmente em condições climáticas desfavoráveis à germinação e emergência durante a semeadura. Recomendados para todos os tipos de sementes, visam garantir um estande adequado, uniforme e uma produtividade elevada. Contudo, para a utilização segura e eficaz desses produtos, é crucial conhecer o perfil sanitário e fisiológico do lote a ser tratado, além da quantidade de inóculo e a posição do patógeno em relação às sementes. Por exemplo, os patógenos localizados externamente à semente são mais suscetíveis à ação do produto químico. Para serem comercializados, esses produtos devem estar registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (PEREIRA et al., 2015).

O tratamento químico nas sementes também gera um efeito preventivo residual inicial, impedindo ou dificultando o estabelecimento de doenças (PIAS, 2014). No entanto, o uso sistemático de produtos, principalmente dos grupos mais específicos e de ação mais fulminante, favorece o desenvolvimento de resistência por parte dos patógenos (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Além disso, o uso de defensivos sintéticos tem acarretado diversos problemas ambientais para humanos e animais, resultando em um desequilíbrio significativo nos ciclos naturais do planeta (NODARI; GERRA, 2015). O controle químico de pragas em sementes também apresenta produtos com compostos de amplo espectro de atuação, muitas vezes de difícil degradação no meio ambiente, o que promove a acumulação de moléculas tóxicas em diversos organismos (JOHN et al., 2011). Diante desse cenário, cresce a preocupação com a necessidade de uma produção sustentável de alimentos (TIMMERMANN; FELIX, 2015), buscando alternativas aos defensivos químicos (SILVA-CRUZ et al., 2015).

Nesse contexto, diversos extratos vegetais têm sido explorados como alternativas no tratamento de sementes, combatendo diversos patógenos. Isso é possível devido aos compostos presentes nesses extratos, que demonstram eficácia no controle de vários microrganismos (CARVALHO et al., 2014). Tanto os extratos naturais quanto os óleos essenciais têm sido objeto de estudos recentes devido ao efeito fungicida de alguns compostos, possibilitando a redução significativa da aplicação de fungicidas sintéticos e apresentando resultados positivos no controle de fungos. Esses produtos naturais derivam de plantas com potencial medicinal para o controle de patógenos, possuindo ação fungicida que inibe o crescimento e a germinação de esporos (BORGES et al., 2013).

O controle alternativo, em contraste com o químico, apresenta ações e espectros mais específicos, sendo em alguns casos seletivos a ponto de agirem apenas sobre um grupo de organismos. Além dessa vantagem, há vários outros pontos favoráveis ao seu uso, como a fácil degradabilidade no meio ambiente, baixo custo e a capacidade de adaptação e utilização de componentes naturais nos agroecossistemas (SHARMA et al., 2015).

O baixo custo dos extratos naturais os torna viáveis para o tratamento de sementes em diversas culturas, incluindo o feijão-caupi, que é parte fundamental da dieta diária da população de baixa renda nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (SILVA et al., 2016). Essa cultura desempenha um papel crucial na economia e geração de emprego na agricultura familiar, sendo predominantemente cultivada por pequenos produtores (ALBUQUERQUE et al., 2015; SILVA et al., 2018).

Estudos publicados demonstram a eficácia de extratos naturais no controle de fungos. Tanto extratos naturais quanto óleos essenciais de plantas medicinais têm sido utilizados em pesquisas para o controle de fungos fitopatogênicos como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium solfsii*, *Alternaria alternata*, *Phytophthora* sp. e *C. graminicola*, induzindo a resposta de fitoalexinas em sorgo e soja (SCHWAN-ESTRADA; STANGARLIN, 2005).

Em um estudo conduzido por Flávio et al. (2014), testando extratos aquosos e óleos essenciais em sementes de sorgo, foi observado que o extrato aquoso de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) e o óleo essencial de alfavaca cravo (*Ocimum gratissimum*) reduzem a infestação de fungos, especialmente de *Curvularia*, embora causem efeito fitotóxico, diminuindo a viabilidade e o vigor das sementes.

## **2. Tratamento biológico**

Como mencionado anteriormente, a produção agrícola é altamente dependente do uso de pesticidas para controlar doenças e pragas (SIVASAKTHI et al., 2014), bem como de fertilizantes químicos para garantir nutrientes adequados e otimizar o rendimento das culturas (GRUHN et al., 2000). No entanto, há uma crescente preocupação pública sobre os potenciais impactos negativos associados à exclusiva dependência de fungicidas e fertilizantes quimicamente sintetizados. Estes impactos incluem o desenvolvimento de resistência de patógenos a esses produtos (BOOTH et al., 1983), poluição ambiental (ZHANG et al., 2011), contaminação de águas superficiais e do solo (SAVCI, 2012), além de

efeitos adversos e não específicos sobre seres humanos, microrganismos benéficos do solo, insetos, aves e peixes (MUÑOZ-LEOZ et al., 2013).

Diante desse cenário, uma alternativa para mitigar o uso excessivo de fungicidas e fertilizantes químicos é a adoção de práticas de controle de doenças de plantas que tenham menor impacto ambiental (CAMARGO, 2007). Isso inclui a utilização de agentes de controle biológico (MERTZ et al., 2009) e biofertilizantes (CHANDLER et al., 2011). No entanto, é importante destacar que o controle biológico, embora ecologicamente consciente, pode não ser tão eficaz quanto o tratamento com fungicidas comerciais devido à sua estabilidade limitada durante a aplicação em campo (BETTIOL; MORANDI, 2009). Para superar essa limitação, a estratégia adotada envolve o uso de combinações de agentes de controle biológico eficazes (XU et al., 2011), aumentando assim a estabilidade e o espectro de ação por meio da integração de diferentes mecanismos, como competição, parasitismo, predação, antibiose e resistência sistêmica (BETTIOL; MORANDI, 2009).

O controle biológico, que se revela uma abordagem ecologicamente responsável (JUNGES et al., 2016), engloba o gerenciamento de diversas doenças. Antagonistas fúngicos, como *Trichoderma* sp., e bacterianos, como *Pseudomonas* sp. e *Bacillus* sp., têm demonstrado sucesso como agentes de controle biológico em sementes e no solo, combatendo patógenos como *Sclerotium rolfsii*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* e *Sclerotinia sclerotiorum* em diferentes culturas (MUKHOPADHYAY et al., 1992; SANKAR; JEYARAJAN, 1996).

Algumas cepas de *Trichoderma* não apenas controlam fitopatógenos, mas também promovem o crescimento das plantas devido à sua versatilidade, que inclui parasitismo, antibiose e competição, além de induzir resistência das plantas contra patógenos (MACHADO et al., 2012; VIVEK et al., 2016). Essas cepas são amplamente utilizadas no tratamento de sementes, proporcionando melhorias no crescimento de diversas culturas (JUNGES et al., 2016). O mecanismo de ação do *Trichoderma* sp. como promotor de germinação e crescimento das plantas é complexo e envolve interações com fatores bioquímicos, produção de diversas enzimas e compostos benéficos (BAUGH; ESCOBAR, 2007), além da competição com outros fitopatógenos pelo substrato.

Estudos mostram que *Trichoderma* sp. é eficaz na inibição do desenvolvimento de patógenos como *Rhizoctonia solani* e *Fusarium subglutinans* (SILVA et al., 2019), *Gliocladium* sp. (SANTIAJI et al., 2007), *Pythium ultimum* (LIU et al., 2009), *Phytophthora palmivora* (HANADA et al., 2009), *Phytophthora infestans* (PURWANTISARI et al., 2009),

*Sclerotium rolfii* (SUPRIATI et al., 2010) e *Meloidogyne* sp (EAPEN et al., 2009). Diversos produtos comerciais de *Trichoderma* estão disponíveis no mercado, como *Trichodermil*®, *Trichodel*® e *Trichoplus*® (RIBEIRO et al., 2016), *Trichobio*®, *Trichodermax*®, *Quality*®, *Trichonemate*® (SANTOS, 2018).

A aplicação de bactérias nas sementes também é uma prática comum no controle biológico de patógenos (CAVAGLIERI et al., 2005). Esse tipo de tratamento influencia o crescimento (HUANG et al., 2016), o rendimento (BANERJEE et al., 2018), a absorção de nutrientes pelas plantas (CALVO et al., 2016) e o controle de doenças nas plantas (XIANG et al., 2017). Os mecanismos de biocontrole das bactérias simbióticas ainda não são totalmente compreendidos, mas estão relacionados à produção de antibióticos e enzimas que degradam a parede celular de fungos fitopatogênicos (MARTINEZ-KLIMOVA et al., 2017). Outras possíveis estratégias incluem a indução de resistência sistêmica (ROMERO et al., 2019), a redução da disponibilidade de ferro para os patógenos através da síntese de sideróforos (AHMED; HOLMSTRÖM, 2014) e a produção de compostos voláteis que inibem o desenvolvimento de patógenos (ROJAS-SOLÍS et al., 2018).

Além de mitigar o impacto causado pelos fitopatógenos nas plantas, as bactérias simbióticas também desempenham um papel protetor ao induzir a produção de fitohormônios (ALI et al., 2017). Entre esses fitohormônios, as giberelinas, diretamente associadas ao sucesso germinativo das sementes (KANG et al., 2017), exemplificam essa influência, bem como a regulação dos hormônios vegetais endógenos. O mesmo padrão é observado no caso das bactérias produtoras de auxinas (LI et al., 2018).

A eficácia do biocontrole realizado por bactérias do gênero *Bacillus* foi confirmada em diversos estudos (LUO et al., 2019), principalmente devido à capacidade dessas espécies de sintetizar antibióticos. As diversas classes de metabólitos secundários produzidos por *Bacillus*, tais como lipopeptídeos, polipeptídeos, dipeptídeos cíclicos, macrolactonas, ácidos graxos, policetídeos, lipoamidas e isocromarinas (HAMDACHE et al., 2011), contribuem para esse potencial. Nishanth et al. (2013) comprovaram a ação antifúngica do extrato bruto obtido do caldo de cultura de *Bacillus* sp., eficaz contra *Penicillium expansum* e *Candida albicans*. *Bacillus cereus* destaca-se como uma das cepas mais eficientes na expressão de seu potencial de biocontrole (LOZANO et al., 2016). Mohandas et al. (2007) evidenciaram a eficácia do filtrado da cultura livre de células de *B. cereus* no controle de diversas bactérias patogênicas, fungos e um parasita de nematóides

(*Meloidogyne incognita*), sugerindo que essa bactéria representa uma valiosa fonte de compostos biologicamente ativos.

No contexto brasileiro, o Grupo de Pesquisa "Bactérias de biocontrole para doenças de plantas que promovem o crescimento vegetal" da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) selecionou rizobactérias com potencial para controlar *B. oryzae* e *Gerlachia oryzae* (LUDWIG et al., 2009), *Rhizoctonia solani* (SOUZA-JÚNIOR et al., 2010), *Pyricularia grisea* (SOUZA-JÚNIOR et al., 2017) e *Meloidogyne graminicola* (LUDWIG et al., 2013). Entretanto, esses estudos avaliaram principalmente a capacidade do tratamento de sementes com rizobactérias em reduzir a incidência de patógenos inoculados em plantas jovens. Recentemente, Moura et al. (2014) demonstraram que sementes de arroz microbiolizadas com essas bactérias também reduziram a transmissão de *B. oryzae* e *G. oryzae* de sementes naturalmente infestadas/infectadas para mudas. No entanto, há escassa informação sobre o impacto do uso de combinações de agentes de biocontrole na transmissão de patógenos nas sementes.

Em um estudo conduzido por Kumar et al. (2014), também foi observada a eficácia de *B. cereus* no controle de *Aspergillus flavus* em sementes de amendoim. Em outra pesquisa realizada por Vitorino et al. (2019), foram identificados efeitos benéficos de cepas rizosféricas (*Enterobacter asburiae* e *Bacillus cereus*) e cepas endofíticas (*Enterobacter cloacae*, *Enterobacter* sp., *Bacillus* sp. e *Pantoea agglomerans*), isoladas da palma *B. archeri*, na germinação de sementes de *Glycine max*. Além disso, foi observado o potencial dessas bactérias para inibir a proliferação de fungos que deterioram as sementes de soja. Outras publicações destacam a eficácia de bactérias no controle de patógenos como *Fusarium verticillioides* (FIGUEIREDO et al., 2010), *Colletotrichum acutatum* (YÁNEZ-MENDIZÁBAL; FALCONI, 2018), *Pseudomonas* sp. (RAUPACH; KOEPPER, 1998) e *Xanthomonas* (CHANDLER et al., 2011).

Apesar dos resultados positivos, o controle biológico apresenta a desvantagem de ter atividade contra um espectro estreito de patógenos, geralmente focando-se em uma única doença. Diante dessa limitação, o uso de misturas de organismos com diferentes modos de ação ou a combinação de produtos químicos e agentes de controle biológico emerge como uma estratégia para ampliar o espectro de atividade (GHOSH et al., 2018).

Nesse contexto, foram desenvolvidas técnicas para aprimorar o controle biológico nas sementes, sendo o biopriming uma abordagem promissora. Essa técnica de tratamento de sementes integra aspectos biológicos, como a inoculação de sementes com

organismos benéficos para proteção, e aspectos fisiológicos, como a hidratação das sementes (VIVEK et al., 2016). Recentemente, o biopriming tem sido empregado como método alternativo para controlar patógenos transmitidos por sementes e do solo, além de ser uma ferramenta para aprimorar a velocidade e uniformidade da germinação, bem como o suporte final (REDDY, 2013).

Trabalhos prévios evidenciaram que a combinação de priming de sementes com a aplicação de agentes de controle biológico resultou em aprimoramentos nas colheitas, e diferentes abordagens foram empregadas para o biopriming (EL-MOHAMEDY; ABD-EL-BAKY, 2008). Apesar das valiosas contribuições do controle biológico, as pesquisas nesse campo ainda representam menos de 1% de todos os métodos de controle utilizados na agricultura, cujo montante global atinge aproximadamente US\$ 30 bilhões (GRIFFITHS et al., 2008). Em uma escala comercial, a adoção do controle de patógenos por meio de antagonistas biológicos é uma tendência recente, e algumas abordagens experimentais estão atualmente em desenvolvimento.

### **3. Tratamento físico**

O tratamento físico de sementes, semelhante a abordagem biológica, representa uma alternativa ao uso de produtos químicos, especialmente no controle de microrganismos que estão aderidos e/ou misturados às sementes. Esse método compreende a limpeza e o beneficiamento, a termoterapia, a irradiação e o desaristamento das sementes. Na etapa de limpeza e beneficiamento, são necessários equipamentos e a aplicação de métodos que visem minimizar a contaminação por fitopatógenos. Quanto ao desaristamento (Figura 1A e B), esse procedimento envolve a remoção de pequenos pelos ou aristas do tegumento da semente, reduzindo a incidência de microrganismos que tendem a se concentrar nesses pontos específicos (PEREIRA et al., 2015).



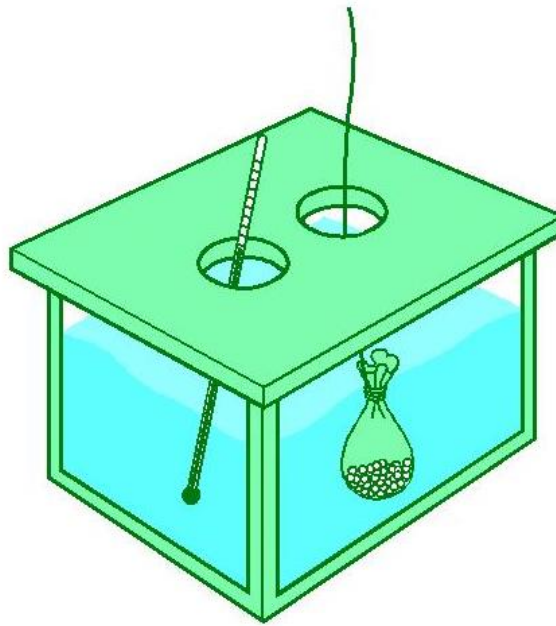


**Figura 1.** Sementes de cenoura com as aristas (A) e sementes de cenoura após o desaristamento (B). Fonte: Pereira et al. (2015).

A termoterapia submete a semente à influência do calor, que atua como um agente físico de controle, eliminando ou reduzindo o inóculo infectivo de um agente patogênico (COUTINHO et al., 2007). Este método envolve a aplicação de calor por meio de tratamento com água quente, ar aquecido e vapor arejado (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

O tratamento com água quente (Figura 3) é uma prática de longa data para o controle de diversas doenças transmitidas por sementes. Utilizando temperaturas suficientemente elevadas para exterminar o organismo patogênico, mas não prejudiciais à semente, essa abordagem continua sendo uma alternativa altamente eficaz (FLOYD; MELVIN-CARTER, 2014). Apesar de ser um método padrão de erradicação de patógenos, ecologicamente correto e comparativamente eficaz em relação aos tratamentos químicos, é importante observar que pode ocasionar perda de viabilidade nas sementes (MEAH, 2004).

Durante o processo, as sementes são imersas em um banho-maria, mantendo a temperatura recomendada (Figura 2). A precisão na duração do tratamento é crucial, pois uma variação de alguns graus para mais ou para menos em relação à temperatura recomendada pode comprometer a eficácia do controle da doença ou até mesmo prejudicar a viabilidade da semente. Após o tratamento, os sacos contendo as sementes são submersos em água fria para interromper o processo de aquecimento. Uma vez que as sementes esfriam, são dispostas em uma camada fina sobre papel toalha para facilitar a secagem (SHARMA et al., 2015).



**Figura 2.** Método de água quente para desinfecção de sementes.

Fonte: Floyd e Melvin-Carter (2014).

A utilização de ar aquecido representa outra alternativa no tratamento térmico de sementes. Esse processo é composto por duas fases distintas: a) a fase de aquecimento, na qual as sementes são submetidas a uma determinada temperatura por um período específico, empregando ar aquecido e umidade relativa calculada para uma desinfestação eficaz; e b) a fase de resfriamento, que encerra o procedimento de tratamento das sementes (VISWANATHAN, 2001). Nesse método, a energia térmica deve percorrer os tecidos externos até os internos da semente (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

O vapor arejado é outra modalidade de tratamento de sementes, caracterizado pela combinação de uma fonte de calor aquecido com outra fonte de ar seco em uma câmara de tratamento. O fluxo de ar, regulado por medidores de temperatura, é misturado ao vapor aquecido e direcionado para a câmara onde as sementes estão posicionadas. Ao final do tempo de tratamento, o fluxo de ar seco é mantido até que as sementes estejam completamente secas (PEREIRA et al., 2015).

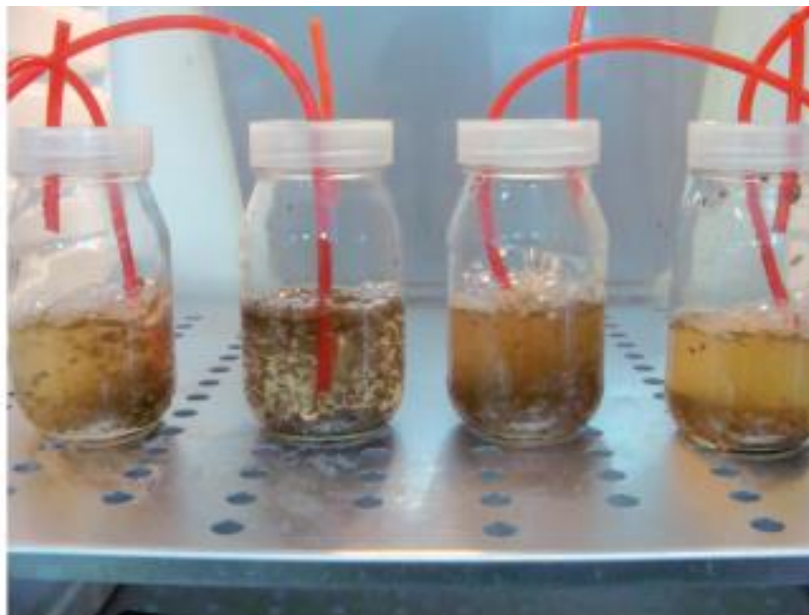
Apesar da eficácia no controle de patógenos, o método da termoterapia pode resultar em danos às sementes, reduzindo sua qualidade fisiológica. Isso ocorre devido à possibilidade de rompimento das membranas celulares ou desnaturação de proteínas nos tecidos externos, provocando a perda de metabólitos essenciais para a germinação e o crescimento das plântulas (MACHADO, 2000).

#### 4. Outros tipos de tratamento de sementes

A aplicação da 'tecnologia de ozônio' no tratamento de sementes antes do plantio possibilita, de forma ecologicamente responsável, a ativação das sementes, resultando em um aumento estimado de 10 a 15% na produtividade agrícola (IVANOVICH, 2011). Além disso, o ozônio, reconhecido como um agente oxidante potente, demonstra eficácia na inativação de diversos microrganismos, incluindo bactérias, vírus, fungos e protozoários (SOUZA, 2006). No contexto brasileiro, a tecnologia de ozônio está sendo estudada tanto em cultivos extensivos quanto em hortaliças, visando a proteção contra pragas e fungos, além da redução de perdas na produção e na qualidade das sementes (PRESTES, 2007).

A radiação eletromagnética constitui outro método de tratamento de sementes que tem apresentado tanto êxito quanto insucesso no controle de patógenos (MACHADO, 2000). A radiação, especialmente a UV-C, atua na redução de propágulos na superfície das sementes por meio de uma ação germicida ou de resistência ao hospedeiro (SANTOS et al., 2016). Quando a radiação ultravioleta possui um comprimento de onda próximo a 254 nm, ocorre a destruição das estruturas dos fungos, inibindo a germinação ou retardando o crescimento do patógeno. Esse efeito é atribuído à desnaturação proteica e à desorganização da membrana plasmática (STEVENS, 2005).

Outro tipo de tratamento é o condicionamento osmótico de sementes (Figura 3).



**Figura 3.** Condicionamento osmótico. Embebição das sementes em solução osmótica em condições controladas.

Fonte: Pereira et al. (2015).

De acordo com Marcos Filho (2015) para sementes ortodoxas a hidratação controlada promove a atividade de mecanismos de reparo das membranas e de componentes da estrutura celular, com redução da liberação de exsudados durante a embebição e, conseqüentemente, menor ocorrência de microrganismos associados às sementes. Isso significa que esse método pode auxiliar no controle de agentes patogênicos uma vez que a atividade da água e o seu potencial hídrico podem determinar o comportamento dos diferentes fungos (HOPKINS; MCQUILKEN 2000). Segundo Cochrane (1958), a tolerância à elevada pressão osmótica é específica, e grande parte dos fungos tem seu crescimento inibido nessas condições.

A peletização e peliculização também apresentam vantagens no controle de patógenos, pois o envoltório que reveste a semente pode ser constituído de várias substâncias, tais como nutrientes, pesticidas, corantes e fungicidas (Figura 4) (PEREIRA et al., 2015).



**Figura 4.** Sementes peletizadas/tratadas.

Fonte: Pereira et al. (2015).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5th ed. Amsterdam: Elsevier Academic, 2005. 922 p.
- AHMED, E.; HOLMSTRÖM, S. J. M. Siderophores in environmental research: roles and applications. **Microbial Biotechnology**, v. 7, n. 3, p. 196-208, 2014.
- ALBUQUERQUE, J. A. A. *et al.* Cultivation of cassava and Cowpea in intercropping systems held in Roraima's savannah, Brazil. **Revista Ciência Agrárias**, v. 46, n. 2, p. 388-395, 2015.
- ALI, S.; CHARLES, T. C.; GLICK, B. R. Endophytic phytohormones and their role in plant growth promotion. **In Functional Importance of the Plant Microbiome**, p. 89-105, 2017.
- BANERJEE, G.; GORTHI, S.; CHATTOPADHYAY, P. Beneficial effects of bio-controlling agent *Bacillus cereus* IB311 on the agricultural crop production and its biomass optimization through response surface methodology. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 2149-2159, 2018.
- BAUGH, C. L.; ESCOBAR, C. L. B. The genus *Bacillus* and genus *Trichoderma* for agricultural bioaugmentation. **Rice Farm Magazine**, v. 1, n. 4, p. 1-4, 2007.
- BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. **Biocontrole de doenças e plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 341p.
- BOOTH, G. M. *et al.* Mechanisms of pesticide resistance in non-target organisms. *In*: GEORGHIOU, G. P.; SAITO, T. (eds). **Pest resistance to pesticides**. New York: Plenum, pp. 387-409. 1983.
- BORGES, D. I. *et al.* Efeito de extratos e óleos essenciais de plantas na germinação de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 3, p. 325-331, 2013.
- CALVO, P. *et al.* Effect of microbial-based inoculants on nutrient concentrations and early root morphology of corn (*Zea mays*). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, p. 56-70, 2016.
- CAMARGO, R. F. **Tratamentos alternativos na qualidade sanitária e fisiológica de sementes de espécies florestais**. 2007. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

CARVALHO, A. F. *et al.* Avaliação da atividade antibacteriana de extratos etanólico e de ciclohexano a partir das flores de camomila (*Matricaria chamomilla L.*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 3, p. 521-526, 2014.

CARVALHO, B. L. *et al.* Tratamento de sementes de cebola com extrato de própolis e *Plectranthus amboinicus* no controle de *Aspergillus* sp. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 12-18, 2019.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590 p

CAVAGLIERI, L. *et al.* Rhizobacteria and their potential to control *Fusarium verticillioides*: effect of maize bacterisation and inoculum density. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 87, n. 3, p. 179–187, 2005.

CHANDLER, D. *et al.* The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 366, n. 1573, p. 1987-1998, 2011.

COCHRANE, V. W. **The Fisiology of Fungi**. New York: John Wiley & Sons Inc, 1958. 524p

COUTINHO, W. M. *et al.* Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de milho submetidas à termoterapia e condicionamento fisiológico. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 458-464, 2007.

DARONCO, M. V. *et al.* Avaliação da eficácia de óleos essenciais no tratamento de sementes de soja. **Ciência Agrícola**, v. 13, n. 1, p. 49-58, 2015.

EAPEN, S. J.; BEENA, B.; RAMANA, K. V. Field evaluation of *Trichoderma harzianum*, *Pochonia chlamydosporia* and *Pasteuria penetrans* in a root knot nematode infested black pepper (*Piper nigrum L.*) garden in india. **Journal of Plantatoin Crops**, v. 37, n. 3, p. 196-200, 2009.

EL-MOHAMEDY, R. S. R.; ABD-EL-BAKY, M. M. H. Effects of seed treatment on control of root rot disease and improvement growth and yield of pea plants. **Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 2, n. 1-2, p. 84-90, 2008.

FIGUEIREDO, J. E. F. *et al.* Avaliação da atividade antagonista da bactéria endofítica CNPMS-22 sobre fungos fitopatogênicos in vitro. **Comunicado Técnico - Embrapa Milho e Sorgo**, v. 186, n. 1, p. 1-4, 2010.



FLÁVIO, N. S. D. S. *et al.* Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de sorgo tratadas com extratos aquosos e óleos essenciais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 7-20, 2014.

FLOYD, R.; MELVIN-CARTER, E. **Vegetable Seed Treatments**. Department of Agriculture and Food, Western Australia. 2014. Disponível em: <https://www.agric.wa.gov.au/vegetables/vegetable-seed-treatments?nopaging=1>. Acesso: 21 nov. 2019.

GHOSH, T. *et al.* A review on seed borne mycoflora associated with different cereal crop seeds and their management. **Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology**, v. 19, n. 3-4, p. 107-117, 2018.

GRIFFITHS, G. J. K. *et al.* Efficacy and economics of shelter habitats for conservation biological control. **Biological Control**, v. 45, n. 2, p. 200-209, 2008.

GRUHN, P.; GOLETTI, F.; YUDELMAN, M. Integrated nutrient management, soil fertility, and sustainable agriculture: current issues and future challenges. **International Food Policy Research Institute**, p. 1-2, 2000.

HAMDACHE, A. *et al.* Non-peptide metabolites from the genus *Bacillus*. **Journal of Natural Products**, p. 74, n. 4, p. 893-899, 2011.

HANADA, R. E. *et al.* Biocontrol potential of *Trichoderma* martial against the black- pod disease (*Phytophthora palmivora*) of cacao. **Biological Control**, v. 50, n. 2, p. 143-149, 2009.

HOPKINS, K. L.; MCQUILKEN, M. P. Characteristics of Pestalotiopsis associated with hardy ornamental plants in the UK. **European Journal of Plant Pathology**, v. 106, n. 1, p. 77-85, 2000.

HUANG, P. *et al.* Evidence that fresh weight measurement is imprecise for reporting the effect of plant growth-promoting (rhizo) bacteria on growth promotion of crop plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 53, n. 2, p. 199-208, 2016.

IVANOVICH, G. V. **Ozone Technology of Presowing Seed Treatment**. 2011. Disponível em: <http://www.techprofiles.org/index.php/biotechnologies/280-ozone-technology-of-presowing-seed-treatment>. Acesso: 10 out. 2019.

- JOHN, R. P. *et al.* Bio-encapsulation of microbial cells for targeted agricultural delivery. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 31, n. 3, p. 211-226, 2011.
- JUNGES, E. *et al.* *Trichoderma* sp. na produção de mudas de espécies florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 237-244, 2016.
- KANG, S. M. *et al.* Gibberellins and indole-3-acetic acid producing rhizospheric bacterium *Leifsonia xyli* SE134 mitigates the adverse effects of copper-mediated stress on tomato. **Plant-Microorganism Interactions**, v. 12, n. 1, p. 373-380, 2017.
- KUMAR, S. N. *et al.* Biocontrol of *Aspergillus* species on peanut kernels by antifungal diketopiperazine producing *Bacillus cereus* associated with entomopathogenic nematode. **PLOS One**, v. 9, e106041, 2014.
- KUPPER, K. C.; BELLOTTE, J. A. M.; GOES, A. Controle alternativo de *Colletotrichum acutatum*, agente causal da queda prematura dos frutos cítricos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1004-1015, 2009.
- LI, X. *et al.* Auxin, cytokinin, and ethylene involved in rice N availability improvement caused by endophyte *Phomopsis liquidambari*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 37, n. 1, p. 128-143, 2018.
- LIU, J. B. *et al.* Effectiveness of *Trichoderma* sp. obtained from re-used soilless substrates against *Phytophthora ultimum* on cucumber seedlings. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 116, n. 4, p. 156-163, 2009.
- LOZANO, G. L. *et al.* Draft genome sequence of biocontrol agent *Bacillus cereus* UW85. **Genome Announcements**, v. 4, n. 5, e00910-16, 2016.
- LUDWIG, J.; MOURA, A. B.; GOMES, C. B. Potential of microbiolization of rice seeds with rhizobacteria for root-knot nematode biocontrol. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 3, p. 264-268, 2013.
- LUDWIG, J. *et al.* Biocontrole da mancha parda e da escaldadura em arroz irrigado, pela microbiolização de sementes. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 5, p. 322-328, 2009.
- LUO, W. *et al.* Embedding *Bacillus velezensis* NH-1 in microcapsules for biocontrol of cucumber *Fusarium* wilt. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 85, n. 9, e03128-18, 2019.



MACHADO, D. F. M. *et al.* *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MACHADO, J. C. Patologia de Sementes: Significado e Atribuições. In: CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciências, Tecnologia e Produção**. Jaboticabal: Funep, p. 524-582. 2012.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: Abrates, 2015. 659p.

MARTINEZ-KLIMOVA, E.; RODRIGUEZ-PENA, K.; SÁNCHEZ, S. Endophytes the sources of antibiotics. **Biochemical Pharmacology**, v. 134, n. 13, p. 1-17, 2017.

MEAH, M.B. **Folder of vegetable seed treating plant**. IPM Lab. Dept. of P. Path. BAU, Mymensingh and USDA-Bangladesh collaborative Res. Project, p. 1-5, 2004.

MERTZ, L. M.; HENNING, F. A.; ZIMMER, P. D. Bioprotetores e fungicidas químicos no tratamento de sementes de soja. **Ciencia Rural [online]**, v. 39, n. 1, p. 13-18, 2009.

MOHANDAS, C. *et al.* Bacteria associated with Rhabditis (*Oscheius*) sp. (Rhabditidae: Nematoda) for the biocontrol of insect pests. In: PADMAJA, G.; KUMAR, T.; EDISON, S.; NAMBISAN, B. (Eds) **Proceedings of the National Seminar on Achievements and Opportunities in Postharvest Management and Value Addition in Root and Tuber Crops (NSRTC-2)**. India: Central Tuber Crops Research Institutem, p.195-198, 2007.

MOURA, A.B. *et al.* Biocontrol and seed transmission of *Bipolaris oryzae* and *Gerlachia oryzae* to rice seedlings. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 4, p. 407-412, 2014

MUKHOPADHYAY, A. N.; SHRESTHA, S. M.; MUKHERJEE, P. K. Biological seed treatment for control of soil born plant pathogens. **FAO Plant Protection Bulletin**, v. 40, p. 221-230, 1992.

MUÑOZ-LEOZ, B. *et al.* Non-target effects of three formulated pesticides on microbially-mediated processes in a clay-loam soil. **Science of The Total Environment**, v. 449, p. 345-354, 2013.

NISHANTH, S. K.; NAMBISAN, B.; MOHANDAS, C. Impact of beef extract and six carbon source on antifungal metabolites production by bacterium associated with entomopathogenic nematode against *Fusarium oxysporum*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 46, n.8, p. 962-970, 2013.

NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. A agroecologia: estratégias de pesquisa e valores. **Estudos Avançados**, v. 83, n. 29, p. 183-207, 2015.

PEREIRA, R. B. *et al.* **Tratamento de sementes de hortaliças**. Distrito Federal: Embrapa Hortaliças, 2015. (Circular Técnica, nº 140).

PESKE, S. T., LUCCA FILHO, O. A., BARROS, A. C. S. A. **Produção de Sementes**. In: Sementes: PIAS, T. H. **Diferentes tipos de tratamentos de semntes para a cultura da soja**. 2014. 31p. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, 2014.

PINTO, N. F. J. A. **Tratamento de sementes, uso de fungicidas e qualidade sanitária de grãos**. 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53830/1/Tratamento-sementes.pdf>. Acesso em: 29 de nov. 2019.

PRESTES, E. B. **Avaliação da eficiência do ozônio como sanitizante em hortaliças folhosas minimamente processadas**. 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PURWANTISARI, S.; HASTUTI, R. B. Uji antagonisme jamur pathogen *Phytophthora infestans* penyebab penyakit busuk daun dan umbi tanaman kentang dengan menggunakan *Trichoderma* sp. isolate lokal. **Bioma**, v. 11, n. 1, p. 24-32, 2009.

RAUPACH, G. S.; KLOEPPER, J. W. Mixtures of plant growth-promoting rhizobacteria enhance biological control of multiple cucumber pathogens. **Phytopathology**, v. 88, n. 11, p. 1158-1164, 1998.

REDDY, P. P. Bio-priming of seeds. In: Reddy, P. P. (ed) **Recent advances in crop protection**. Nova Deli: Springer, p. 83-90. 2013.

RIBEIRO, M. F. *et al.* Alternative methods of biological control in maintaining the viability of stored coffee seeds. **African Journal of Agricultural**, v. 11, n. 10, p. 818-824, 2016.

ROJAS-SOLÍS, D.; SANTOYO, G. Data on the effect of *Pseudomonas stutzeri* E25 and *Stenotrophomonas maltophilia* CR71 culture supernatants on the mycelial growth of *Botrytis cinerea*. **Data in Brief**, v. 17, p. 234-236, 2018.

ROMERO, F. M. *et al.* A Bacterial endophyte from apoplast fluids protects canola plants from different phytopathogens via antibiosis and induction of host resistance. **Phytopathology**, v. 109, n. 3, p. 375-383, 2019.

SANKAR, P.; JEYARAJAN, R. Seed treatment for biological control of *Macrophomina phaseolina* in sesamum. **Indian Phytopathology**, v. 49, p. 148-151, 1996.

SANTIAJI, B. D.; GUSNAWATY, H. S. Potensi ampas sagu sebagai media perbanyakan jamur agensia biokontrol untuk pengendalian patogen tular tanah. **Jurnal Agriplus**, v. 17, p. 20-25, 2007.

SANTOS, I. S. **Antagonismo de isolados de Trichoderma frente a fungos associados a sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2018. 46p. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2018.

SANTOS, L. A. *et al.* Radioterapia e Termoterapia como tratamentos de sementes de Soja. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 9, n. 2, p. 37-44, 2016.

SAVCI, S. An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. **Internatinal Journal of Environmental Science and Development**, v. 3, n.1, p. 73-80, 2012.

SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; STANGARLIN, J. R. Extratos e óleos essenciais de plantas medicinais na indução de resistência. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. (Eds.) **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: Fealq. p. 125-132, 2005.

SENEME, A. M. *et al.* Controle de patógenos em sementes de sorgo com óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (D. C.) Stapf. **Nucleus**, v. 16, n. 2, 2019.

SHARMA, K. K. *et al.* Seed treatments for sustainable agriculture: a review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 1, p. 521-539, 2015.

SILVA, A. C. *et al.* Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, p.1-5, 2018.

SILVA, G. C. *et al.* Rendimento de grãos secos e componentes de produção de genótipos de feijão-caupi em cultivo irrigado e de sequeiro. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 342-350, 2016.

SILVA, T. W. R. *et al.* Pine seeds treatment with *Trichoderma* for *Fusarium* control. **Floresta Ambiente**, v. 26, n. 2, e20170875, 2019.

SILVA-CRUZ, M. E. *et al.* Control del moho azul en poscosecha de manzana con productos naturales. **Idesia**, v. 33, n. 2, p. 57-63, 2015.

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR)-*Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 16, p. 1265-1277, 2014.

SOUZA, J. B. **Avaliação de métodos para desinfecção de água, empregando cloro, ácido peracético, ozônio e o processo de desinfecção combinado ozônio/cloro**. 2006. 176 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUZA-JÚNIOR, I.T. *et al.* Biocontrole da queima-das-bainhas e do nematoide-das-galhas e promoção de crescimento de plantas de arroz por rizobactérias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 11, p. 1259-1267, 2010.

SOUZA-JÚNIOR, I.T. *et al.* Expansion of the biocontrol spectrum of foliar diseases in rice with combinations of rhizobacteria. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 513-522, 2017

STEVENS, C. *et al.* The effect of fruit orientation of postharvest commodities following low dose ultraviolet light-C treatment on host induced resistance to decay. **Crop Protection**, v. 24, p. 756-759, 2005.

SUPRIATI, L. *et al.* Kemampuan antagonisme beberapa isolat *Trichoderma* sp. indigenous terhadap *Sclerotium Rolfsii* secara invitro. **Agroscientiae**, v. 17, n. 3, p. 119-122, 2010.

TIMMERMANN, C.; FELIX, G. F. Agroecology as a vehicle for contributive justice. **Agriculture and Human Values**, v. 32, n. 3, p. 523-538, 2015.

VISWANATHAN, R. Different aerated steam therapy (AST) regimes on the development of grassy shoot disease symptoms in sugarcane. **Sugar Tech**, v. 3, n. 3, p. 3-91, 2001.

VITORINO, L. C. *et al.* Application of bacteria symbiotic with *Butia archeri* (Arecaceae) to the biocontrol of the phytopathogenic fungi that deteriorate seeds of *Glycine max*. **Seed Science and Technology**, v. 47, n. 3, p. 325-341, 2019.

VIVEK, S. *et al.* Seed bio-priming with *Trichoderma asperellum* effectively modulate plant growth promotion in pea. Int. **Journal of Agriculture Environment & Biotechnology**, v. 9, n. 3, p. 361-365, 2016.

XIANG, N. *et al.* Biological control of *Meloidogyne incognita* by spore-forming plant growth-promoting rhizobacteria on cotton. **Plant Disease**, v. 101, n. 5, p. 774-784, 2017.

XU, X. M. *et al.* Combined use of biocontrol agents to manage plant diseases in theory and practice. **Phytopathology**, v. 101, n. 9, p. 1024-1031, 2011.

YÁNEZ-MENDIZÁBALA, Y.; FALCONÍ, C. E. . Efficacy of *Bacillus* sp. to biocontrol of anthracnose and enhance plant growth on Andean lupin seeds by lipopeptide production. **Biological Control**, v. 122, p. 67-75, 2018.

ZHANG, W.; JIANG, F.; OU, J. Global pesticide consumption and pollution: With China as a focus. **Proceedings of the International Academy Ecology and Environment Science**, v. 1, n. 2, p. 125-144, 2011.

## CAPÍTULO 6 - PRODUTOS NATURAIS COM EFEITO FUNGICIDA NO COMBATE A PATÓGENOS DE SEMENTES

### 1. Princípio ativo

#### 1.1 Alfavaca

O extrato de alfavaca possui em sua composição glicosídeos, flavonóides, terpenóides saponina, fenólicos e taninos (FADIJI et al., 2018). É caracterizado por apresentar o timol e o eugenol como principais componentes que tem demonstrado propriedade antimicrobiana, imunoestimulante e antifúngica (SILVA et al., 2012).

Os flavonoides apresentam poder antioxidante, antiviral e atividade sobre a permeabilidade capilar (SIMÕES, 2010). Esse composto tem capacidade de se complexar com a parede bacteriana, que muitas vezes leva à inativação de proteínas e perda da função (TSUCHIYA et al., 1994). Já os compostos fenólicos inibem as enzimas por reações com grupos sulfidril ou por interação inespecífica com proteínas, portanto tóxica para os microrganismos (MASON; WASSERMAN, 1987).

As saponinas tem a capacidade de formar complexo com esteroides, proteínas e fosfolipídios de membranas, o que um número variado de propriedades biológicas para essas substâncias, destacando-se a ação sobre membranas celulares, alterando sua permeabilidade, ou causando sua destruição (GOMES et al., 2018).

O eugenol é responsável por provocar alterações na membrana citoplasmática, interrupção da força motriz dos prótons, do fluxo de elétrons, do transporte ativo; e coagulação do conteúdo celular de fungos filamentosos (ABBASZADEH et al. 2014). Costa et al. (2011) observaram que o eugenol causa alteração morfológica nos vacúolos, desorganização do conteúdo celular, e redução da distinção da parede celular.

Apresenta potencial inibitório contra os fungos *Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp. (RIZVI et al., 2014). Em outro ensaio Aquino et al. (2014) observaram que aplicações de extrato de alfavaca também reduzia significativamente o fungo *Colletotrichum gloeosporioides*.

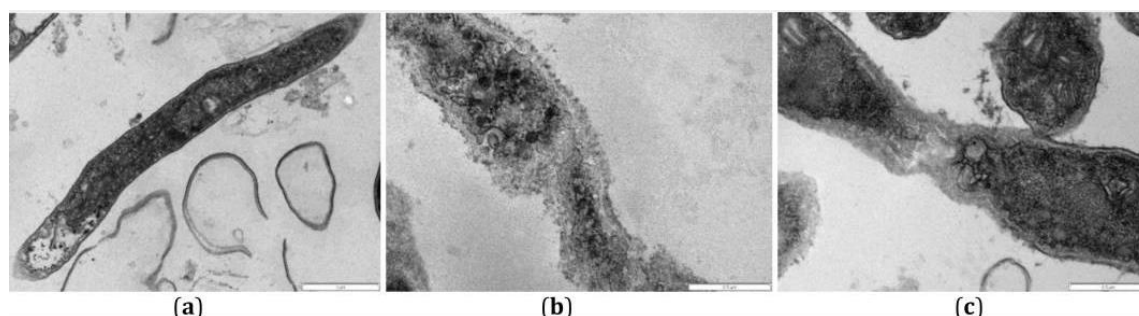
#### 1.2 Alho

O extrato de alho é amplamente conhecido por sua atividade antifúngica, demonstrando satisfatória atividade inibitória ao crescimento de *Alternaria*, *Aspergillus*

sp., *Colletotrichum acutatum*, *Fusarium* sp., *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Trichoderma longibrachiatum*, entre outros (ARAÚJO et al., 2019).

Dentre os compostos que constitui o extrato aquoso de alho o principal é a alicina (BAYAN et al., 2014), que apresenta propriedades antimicrobianas contra uma vasta gama de microrganismos, abrangendo bactérias, fungos, protozoários e vírus (BARRETO PINILLA, 2016). Esse extrato possui ainda outros metabólitos secundários, tais como, taninos, alcaloides, cumarinas e flavonoides que também favorecem a inibição da atividade microbiana (FELIX et al., 2018).

Comparando a alicina isolada e o extrato de alho Aala et al. (2014) observaram que hifas de *T. rubrum* tratadas com a alicina ( $12,5 \mu\text{g ml}^{-1}$ ) mostraram desintegração e deterioração das partes do citoplasma, além de quebra da membrana celular e da parede celular e colapso das hifas. Já as hifas tratadas com o extrato de alho ( $4 \text{ mg ml}^{-1}$ ) exibiam degradação e dissolução dos componentes do citoplasma, além de destruição da parede celular e da membrana celular (Figura 1).



**Figura 1.** Seção longitudinal de *Trichophyton rubrum*. a. Hifa não tratada normal mostrando parede celular, membrana celular e organelas típicas. b. Hifas tratadas com alicina ( $12,5 \mu\text{g ml}^{-1}$ ) mostrando desintegração e deterioração do citoplasma, quebra da membrana celular e da parede celular e colapso das hifas. c. Hifas tratadas com extrato de alho ( $4 \text{ mg ml}^{-1}$ ) indicando degradação e dissolução dos componentes do citoplasma, ruptura da parede celular e da membrana celular.

Fonte: Aala et al. (2014).

Vários estudos mostram que a alicina, S-alil cisteína, Allyl cisteína Mercapto, sulfeto de dialil (DAS), dissulfeto de dialil (DADS) e trissulfeto de dialil são compostos voláteis contidos no alho que apresentam atividade antioxidante (DIAS et al., 2011). Esses compostos antioxidantes influenciam a qualidade das sementes, no controle da

proliferação de microrganismos, na preservação da germinação de sementes, na ação sobre espécies reativas de oxigênio e na interferência de reserva compostos, membranas, material genético, entre outros (PERELLÓ et al., 2013).

### **1.3 Cavalinha**

O extrato de cavalinha apresenta em sua composição alcaloides, carboidratos, proteínas e aminoácidos, fitoesteróis, saponinas, esteróis, ácido ascórbico, ácido silícico, fenol, tanino, flavonóides, triterpenóides, óleos voláteis e muitos outros componentes ativos biológicos (AL-SNAFI, 2017). Os flavonóides predominantes identificados nessas análises foram epicatequina, quercetina, catequina, enquanto os principais ácidos fenólicos foram ácido vanílico, ácido caféico, ácido ferúlico e ácido pcoumarico (PALLAG et al., 2016).

O extrato de cavalinha apresenta ação fitoprotetora no controle de fungos, evitando sua proliferação (BERTALOT et al., 2010), já vem sendo utilizada no controle de patógenos por agricultores e tem demonstrado grandes perspectivas como defensivo agrícola natural (BRAGA, 2014). É eficaz na inibição de fungos, tais como: *Aspergillus* sp. e *Fusarium* sp. (GARCIA et al., 2013).

### **1.4 Citronela**

O extrato de citronela contém mais de 80 componentes em sua composição, no entanto o citronelol, o geraniol, e o citronelal mostram-se em quantidades superiores (LEITE et al., 2011). Esse extrato apresenta alta eficiência na inibição do crescimento micelial de fungos, sendo em alguns casos inibido completamente o desenvolvimento de fungos (PERINI et al. 2013).

Pereira et al. (2016) observaram que o extrato de citronela nas concentrações de 10, 20 e 30% diminuíram a incidência de *Rhizoctonia* sp., *Pestalotiopsis* sp. e *Alternaria* sp. Em outro estudo Cruz et al. (2015) notaram que o óleo essencial de citronela exibiu alto potencial fungicida contra *F. solani* em goiabeira. Efeito fungicida também pode ser verificado em *Penicillium* (WU et al., 2016) e em *Aspergillus* (AGUIAR et al., 2014).

### **1.5 Arruda**

O extrato de arruda é outro que tem se destacado com potencial fungicida por também apresentar em sua composição óleos voláteis, ácidos fenólicos, flavonoides e cumarinas presentes nessa planta (SALMAN et al., 2018).

A aplicação desse extrato diminui significativamente o crescimento, esporulação e germinação de *Trichoderma*, podendo ser esse fungo inibido em torno de 90% (REYES-



QUINTANAR et al., 2014). O extrato aquoso de arruda apresenta elevado poder fungicida, chegando a inibir completamente o crescimento micelial de fungos, no entanto, a concentração do extrato apresenta resultados diferentes no controle de fitopatógenos (HÜLLER et al., 2019)

### **1.6 Canela**

O extrato de canela é um fungicida natural que apresenta em sua composição o cinamaldeído e o eugenol como principais componentes (CARMELLO; CARDOSO, 2018). O cinamaldeído causa danos às paredes celulares, membranas celulares, citoplasma e outras estruturas celulares (KHAN et al., 2013). A ação fungica desse vegetal atua tanto em espécies de fungos sensíveis, como em espécies resistentes (SHREAZ et al., 2011).

É possível ainda verificar ainda no extrato de canela: alcaloides, flavonoides, cumarinas, taninos, quinonas (PEREIRA, 2006), proteínas, aminoácidos, taninos, esteroides e triterpenoides, carotenoides, purina, saponina espumílica (ORLANDO et al., 2006). Tendo em vista isso, o poder fungicida pode estar associado à presença de um destes compostos ou à ação sinérgica de dois ou mais compostos (CRUZ et al., 2015).

O extrato de canela é eficiente contra a *Cercospora Kkikuchii*, *Colletotrichum sp.*, *Penicillium sp.* e *Phomopsis sp.*, podendo apresentar efeito inibitório superior a 50% sobre esses fungos, além de inibir completamente o crescimento de *Alternaria solani* (VENTUROSO et al., 2011). Quando associado ao extrato de manjeriço promove redução significativa dos fungos *Aspergillus flavus*, *A. niger* e *Rhizopus sp.* em sementes de *Bauhinia variegata* infectadas (GOMES et al., 2019).

### **1.7 Cravo da Índia**

O extrato de cravo da Índia contém eugenol, acetil eugenol, salicilato de metila, benzaldeído, acetato de benzila, etc (WU et al., 2015), sendo que o componente dominante é o eugenol com uma concentração em torno de 76%, com uma variação de 18% dependendo da parte da planta que é utilizada (como raiz, caule, folha e fruto) (MOHAMED et al., 2018).

Vários trabalhos demonstram a eficiência do extrato de cravo da Índia no combate a fungos de importância agrícola. Costa et al. (2011) observaram que o óleo apresentou atividade fungicida na concentração de 0,15% no crescimento de *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* e *Fusarium solani*. Esses autores perceberam diversas alterações morfológicas, como desorganização dos conteúdos celulares, diminuição na nitidez da parede celular, intensa fragmentação e menor turgência das hifas.

Testando vários extratos Sarfraz et al. (2018) constataram que o extrato de cravo da Índia apresentou efeito fungicida contra *Alternaria solani* com inibição de 100% desse patógeno. Já Masih et al. (2014) verificaram efeito inibitório sobre o crescimento de *Aspergillus*, *Fusarium solani*, *Alternaria solani* e *Helminthosporium sp.* Em outro estudo desenvolvido por Carmello e Cardoso (2018) observou-se que o extrato de flores secas de cravo-da-Índia na concentração de 5% não inibiu completamente o fungo *Cercospora longissima*, porém reduziu drasticamente (67,9%) o crescimento de micélio.

### **1.8 Eucalipto**

O extrato de eucalipto possui um amplo espectro de atividade biológica, incluindo propriedade antimicrobiana, fungicida, antioxidante, inseticida, herbicida, acaricida e nematocida (KUMAR et al., 2018). Os principais compostos são 1,8-cineol, limoneno, *p*-cimeno,  $\gamma$ -terpineno,  $\alpha$ -pineno,  $\alpha$ -terpineol, canfeno, linalol e ocimeno (AMEUR et al., 2012; Dušan et al., 2014), que apresentam ação microbiana contra muitos tipos de micróbios patogênicos (ROCHA CALDAS et al., 2015). Zhou et al. (2014) separa os principais constituintes da seguinte forma:  $\alpha$ -pineno (24,78%), 1,8-cineol (45,57%), acetato de terpinil (8,34%),  $\alpha$ -terpineol (2,51%), isoborneol (1,45%), canfeno (0,60%) e linalol (0,15 %).

O extrato de eucalipto apresenta atividade fungicida contra os fungos *Fusarium graminearum*, *Colleotrichum gloeosporioides*, *Alternaria longipes*, *Alternaria solani*, *Botrytis cinérea*, *Bipolaris maydis*, *Fusarium moniliforme*, *Rhizoctonia solani*, entre outros. O tratamento com esse extrato afeta o desenvolvimento de micélio, metabolismo de nitrogênio, metabolismo de carboidratos, metabolismo lipídico, síntese de proteínas, transdução de sinal e transporte de material, causando anormalidade nas estruturas e distúrbios da função fisiológica (ZHOU et al., 2016).

### **1.9 Extrato pirolenhoso**

O extrato pirolenhoso apresenta um alto teor de água e uma composição química muito complexa, contendo mais de 200 compostos orgânicos já encontrados (WU et al., 2015). Os principais compostos presentes no extrato pirolímico incluem ácidos fórmico, acético, propiônico e valérico; metanol, butanol e álcool amílico; fenol e cresóis, além de derivados de guaiacol e siringol; compostos neutros como formaldeído, acetona, furfural e valerolactona; entre vários outros, como maltol, cicloteno, etc (ARAÚJO et al., 2018).

Esse extrato apresenta propriedades antioxidantes, antimicrobianas, inseticidas, além de promover a germinação de sementes e o crescimento de plântulas. Em estudo

realizado por Macedo et al. (2019), o extrato pirolenhoso proporcionou redução da incidência de fungos do gênero *Fusarium sp.* e *Rhizoctonia sp.*, que são considerados importantes patógenos vegetais que comprometem a qualidade das sementes e o estabelecimento de plântulas em campo.

Em outro experimento desenvolvido por Furtado et al. (2002) observou-se que o extrato pirolenho, in vitro, na dose de 1 mL L<sup>-1</sup>, inibiu totalmente o crescimento micelial de *Botrytis cinerea*, *Cylindrocladium clavatum* e *Rhizoctonia solani*. É possível constatar também redução da taxa de patogenicidade dos fungos *R. solani* e *S. sclerotiorum* em até 87% quando comparado com o controle não tratado, sendo que a severidade da doença foi diminuída significativamente em todas as concentrações de extrato pirolenhoso (0,75, 0,5, 0,37, 0,25, 0,125, 0,05, 0,025%) (SABERI et al., 2013).

### 1.10 Romã

O extrato de romã contém vários compostos biologicamente ativos, dentre os quais apresenta como principais componentes antifúngicos os flavonoides (quercetina, rutina, luteolina, pelargonidina, rodelfinidina, apigenina, etc.) e taninos (ácido gálico, ácido elágico, punicalagina, elagitanina, etc.) (ARA; RAOFI, 2016). Além de apresentar atividade antimicrobiana contra diversos microrganismos, esse extrato ainda possui atividade antioxidante e anti-inflamatória (JURENKA, 2008).

Recentemente, a cultura da romã tem atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores devido ao seu alto conteúdo de polifenóis, como punicalina, punicalagina, ácido elágico e antocianinas, localizados principalmente na casca de frutas, mesocarpo e arilo (ULRIKE et al., 2011). Prova disso é que o extrato feito da casca de romã apresenta conteúdo fenólico 2,8 vezes maior quando comparado ao extrato de folhas, implicando em uma atividade fúngica mais elevada (TEHRANIFAR et al, 2011).

A punicalagina presente nesse extrato está envolvida com a formação de complexos com polissacarídeos e proteínas associadas à camada externa das células fúngicas, que causam uma desestabilização da função das membranas celulares, resultando na morte do patógeno (RONGAI et al., 2018).

O extrato de romã inibe o crescimento micelial de vários fungos, tais como *Fusarium sambucinum* (ELSHEBINY et al., 2016), *P. italicum*, *P. digitatum* (GIVI; GHOLAMI, 2020), *A. ochraceuse* (FAIROOZ; FAIROOZ, 2018), *C. acutatum* (PANGALO et al., 2017), entre outros.

### 1.11 Capim cidreira

O extrato de capim cidreira apresenta em sua composição o citral, principal componente antifúngico, composto pela mistura dos isômeros geranial e neral (65-80%). Além desse composto, pode-se observar ainda o limoneno, citronelal, mirceno e geraniol, que aparecem em menores quantidades (GUERRA et al, 2000).

Esse extrato reduz o crescimento e desenvolvimento de fungos tais como: *Fusarium sp.*; *Penicillium sp.* (SENEME et al., 2019); *Colletotricum gloesporioides*; *Bipolaris sp.*; *Alternaria alternata* (GUIMARÃES et al., 2011); *Alternaria citrii*; *Botrytis cinérea* (COMBRINCK et al., 2011); *Puccinia nakanishikii* (LORENZETTI et al., 2012); *Cercospora coffeicola* (PEREIRA et al., 2011), entre outros.

## 2. Síntese de metabólitos secundários.

Os metabólitos secundários atuam como compostos de defesa e podem ser divididos em três grupos químicos: os terpenos, os compostos fenólicos e os compostos nitrogenados (TAIZ; ZEIGER, 2013).

### 2.1 Terpenos

Nas espécies de plantas aromáticas, a biossíntese de óleos essenciais ocorre através de duas vias bioquímicas naturais complexas, envolvendo diferentes reações enzimáticas (Figura 1). O isopentenil difosfato (IPP) e seu isômero dimetialil difosfato (DMAPP) são os precursores universais da biossíntese de óleo essencial e são produzidos pela via enzimática citosólica MVA (ácido mevalônico) ou pela via desastidial e enzimática 1-deoxi-D-xilulose 5-fosfato (DXP), também denominada via 2-C-metil-D-erexitol 4-fosfato (MEP) (Figura 2). Na parte da célula vegetal específica, o difenato de prenil-sintase condensa o isopentenil difosfato (IPP) e o dimetialil difosfato (DMAPP) para formar os difenatos de prenil, que são usados como substratos para o geranil difosfato (GPP; C<sub>10</sub>) ou fernesil difosfato (FPP; C<sub>15</sub>). Os óleos essenciais são produtos terpenóides finais e são formados por um enorme grupo de enzimas conhecidas como terpeno-sintase (TPS) (REHMAN et al., 2016).

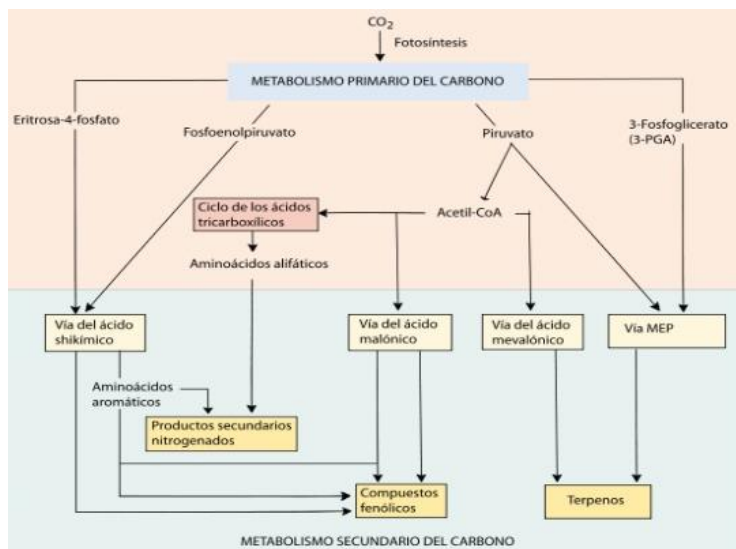


Figura 1. Principais rotas de biossíntese de metabólitos secundários.

Fonte: Taiz e Zeiger (2013).

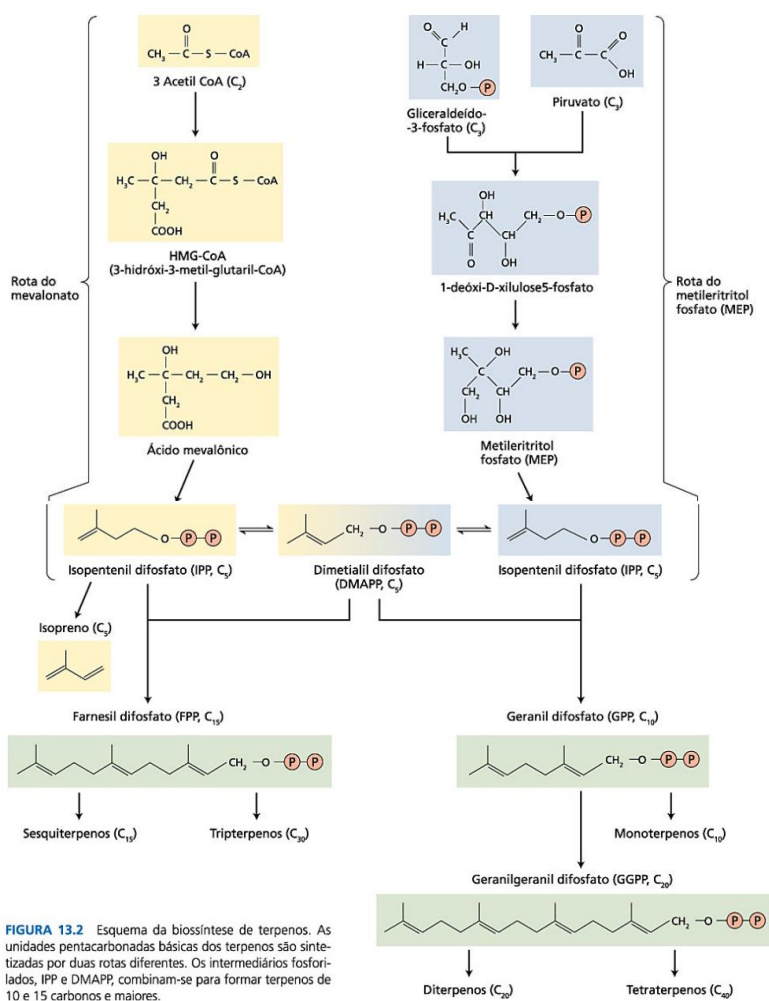


FIGURA 13.2 Esquema da biossíntese de terpenos. As unidades pentacarbonadas básicas dos terpenos são sintetizadas por duas rotas diferentes. Os intermediários fosforilados, IPP e DMAPP, combinam-se para formar terpenos de 10 e 15 carbonos e maiores.

Figura 2. Esquema da biossíntese de terpenos

Fonte: Taiz e Zeiger (2013).

Os óleos essenciais são de composição extremamente complexa devido à presença de substâncias químicas altamente funcionalizadas de diferentes classes químicas, incluindo monoterpenóides, sesquiterpenóides e fenilpropanóides (BERKA-ZOUGALI et al., 2012). Mais de 55.000 isoprenóides (também denominados terpenos ou terpenóides) foram isolados, sendo alguns caracterizados por diversos papéis funcionais, e seu número duplica a cada década (SANGWAN et al., 2001).

Pesquisas iniciais mostraram que os sesquiterpenos e triterpenos são biossintetizados a partir do farnesil difosfato (FPP) usando IPP citosólica como precursor. Já o IPP plastidal é precursor do geranyl difosfato (GPP) e do geranyl-geranyl difosfato (GGPP), que sintetiza mono, di e tetraterpenos (CHENG et al., 2007).

Os terpenos voláteis representam a maior e mais diversa classe de metabólitos voláteis das plantas contribui para as respostas de defesa das plantas, pois são repelentes ou tóxicos para os herbívoros, predadores e parasitóides (THOLL, 2015).

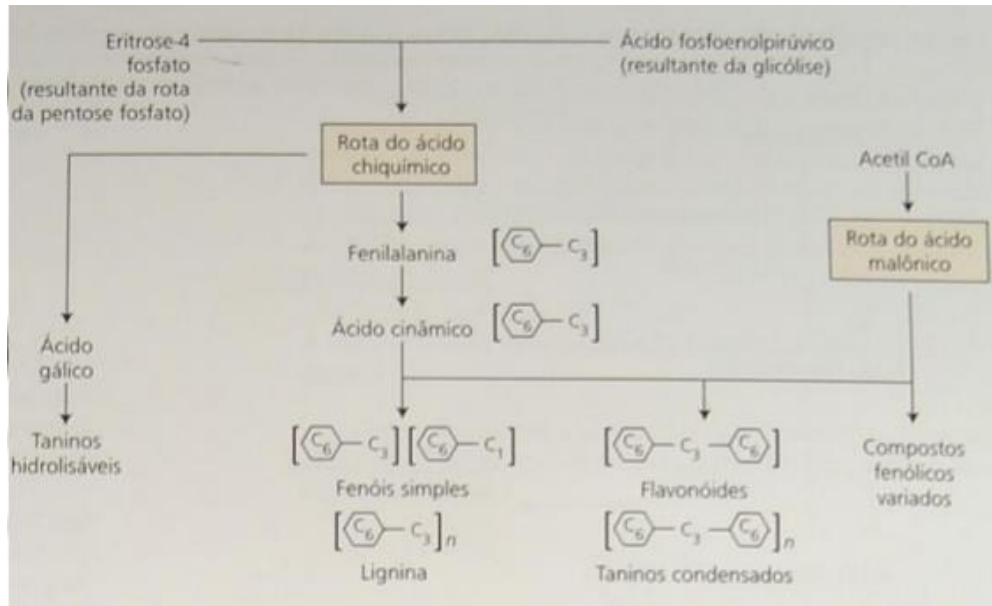
## 2.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos e polifenólicos podem ser classificados em várias classes, nomeadamente ácidos fenólicos, flavonóides, estilbenos, cumarinas, ligninas e taninos (SHAHIDI; YEO, 2018).

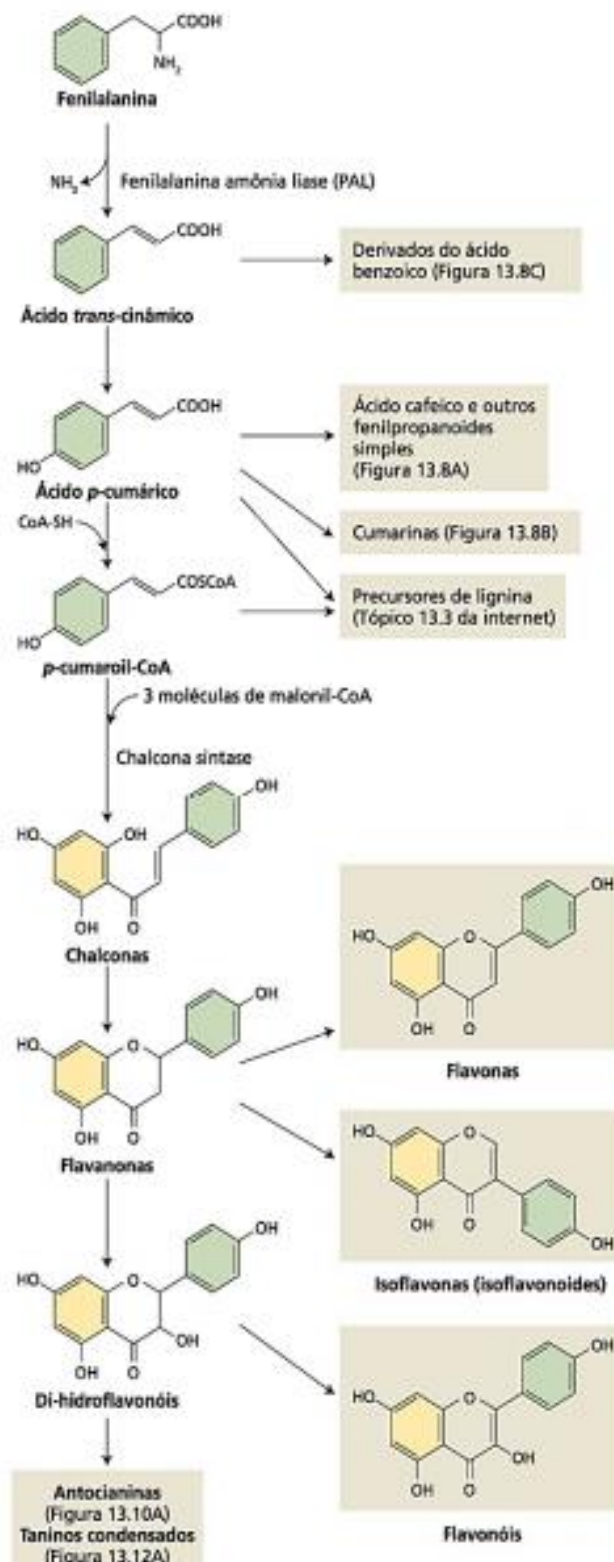
A biossíntese de fenólicos ocorre na superfície do retículo endoplasmático (ER) nas células vegetais (MANACH et al., 2004). A fenilalanina e a tirosina são precursores da biossíntese de diferentes classes de fenólicos, como ácidos fenólicos, flavonóides, estilbenos, cumarinas, ligninas e taninos. Uma variedade de enzimas, incluindo eritrose-4-fosfato, fenilalanina amônia liase (PAL), cinamato-4-hidroxilase, *p*-cumarato-3-hidroxilase e *o*-metil transferase, está envolvida na biossíntese de fenólicos (NACZK; SAHIDI, 2004).

A fenilalanina, que é sintetizada pela via do chiquímico e, em menor grau, a tirosina, são os precursores primários da biossíntese de diferentes classes de fenólicos (Figura 3; 4). A biossíntese enzimática de fenólicos começa com a liberação de um grupo amônia de fenilalanina pela fenilalanina amônia liase (PAL), e essa etapa produz ácido trans-cinâmico com a criação de uma ligação dupla. O ácido trans-cinâmico produzido é modificado em ácido *p*-camárico pela cinamato-4-hidroxilase e, subsequentemente, a assistência da *p*-cumarato-3-hidroxilase gera ácido cafeico do ácido *p*-camárico após a introdução de um grupo hidroxila no anel aromático (TAIZ; ZEIGER, 2013).

## Patógenos de sementes: como identificar, controlar e prevenir



**Figura 3.** Biossíntese dos compostos fenólicos. Fonte: Taiz e Zeiger (2013).



**Figura 4.** Esquema de biossíntese de compostos fenólicos a partir da fenilalanina.

Fonte: Taiz e Zeiger, 2013.

O ácido *p*-cumárico é alterado em ácido ferúlico pela ação da *o*-metil-transferase e, assim, o ácido ferúlico é convertido em ácido sinápico; duas enzimas, hidroxilase e *o*-



metil transferase, estão envolvidas na substituição de um grupo metoxi pela biossíntese do ácido sinápico. A tirosina, outro precursor, também é transformada em ácido *p*-carmárico, destacando-se um grupo de amônia por meio da reação enzimática da tirosina amônia liase e, em seguida, o ácido *p*-carmênico é transformado em diferentes tipos de ácidos fenólicos pelas mesmas reações. Além disso, o ácido benzóico é formado pela perda de dois átomos de carbono dos fenilpropanóides (SHAHIDI; YEO, 2018).

A biossíntese dos flavonóides, denominada via do ramo flavonóide, começa com uma combinação de três moléculas de malonil coenzima A (CoA) e *p*-camomioil CoA, levando à formação de naringenina-chalcona com o auxílio da calconetase (CHS), seguida por alteração em flavonona pela chalcone isomerase. A flavonona produzida é convertida em diferentes classes de flavonóides individuais, como flavona, flavonol, flavononol, flavanona, isoflavona e antocianinas sob reações enzimáticas adequadas. Por exemplo, a flavonona é transformada em caempferol e apigenina pelo flavonol sintase / flavanona-3-hidroxilase e flavona sintase, bem como a produção de genistéina pela isoflavona sintase (SHAHIDI; YEO, 2018).

### **2.3 Compostos nitrogenados**

Nessa categoria encontram-se compostos que atuam na defesa da planta contra a herbivoria, tais como, alcaloides e os glicosídeos cianogênicos, os quais são de considerável interesse. Além desses, ainda tem os glucosinolatos e aminoácidos não protéicos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os alcalóides apresentam o grupo de metabólitos secundários que contêm átomos básicos de nitrogênio. Alguns compostos relacionados com propriedades neutras e fracamente ácidas também estão incluídos nos alcalóides. Além de carbono, hidrogênio e nitrogênio, esse grupo também pode conter oxigênio, enxofre e raramente outros elementos, como cloro, bromo e fósforo (NICOLAOU et al, 2011).

Os alcalóides são produzidos por uma grande variedade de organismos, como bactérias, fungos, animais, mas principalmente pelas plantas como metabólitos secundários. A maioria deles é tóxica para outros organismos e pode ser extraída por ácido-base. Os alcaloides são biossintetizados a partir de aminoácidos como a tirosina (EVANS; MITCH, 1982).

Os glicosídeos cianogênicos são metabólitos secundários naturais de plantas bioativas derivados de aminoácidos, e consistem em uma aglicona do tipo  $\alpha$ -hidroxinitrila ligada a uma porção de açúcar (principalmente glicose D) (MØLLER, 2010).

A quebra dos glicosídeos consiste de um processo enzimático dividido em duas etapas. Na primeira etapa, o açúcar é clivado por uma glicosidase, uma enzima hidrolítica que separa açúcares de outras moléculas às quais eles estejam ligados. Na segunda etapa, o produto resultante da hidrólise, pode se decompor lenta ou espontaneamente para liberar HCN. Essa etapa pode ser acelerada pela enzima lítica hidroxinitrila liase (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os glucosinolatos e seus produtos de degradação são fatores importantes na defesa das plantas contra herbívoros, bem como contra patógenos. A biossíntese de glucosinolatos inclui três fases independentes: primeiro, o alongamento da cadeia de aminoácidos; segundo, conversão do aminoácido precursor via aldoxima em glucosinolatos; e, finalmente, outras modificações dos glucosinolatos resultantes (SELMAR, 2018).

### **3. Mecanismos de ação no controle de fungos.**

As células dos mamíferos contêm principalmente colesterol, enquanto as células dos fungos contêm principalmente ergosterol. Essa diferença no conteúdo de esterol tem sido um dos principais alvos de drogas de interesse na busca por agentes antifúngicos. A atividade antifúngica pode ser obtida destruindo a célula fúngica patogênica. Observando a composição da célula fúngica, pelo menos seis mecanismos antifúngicos diferentes podem ser sugeridos (WALKER; WHITE, 2011).

Inibição da formação da parede celular: a parede celular dos fungos consiste principalmente em  $\beta$ -glucanos. Se a síntese desses compostos for inibida, a integridade da parede celular prejudicará (WALKER; WHITE, 2011).

Ruptura da membrana celular: os ergosteróis são essenciais para a membrana celular. Se esses esteróis estiverem ligados a drogas antifúngicas, ou a síntese delas for inibida por inibidores da biossíntese de ergosterol, a integridade da membrana celular será prejudicada. Assim, a membrana fica com vazamento (WALKER; WHITE, 2011).

Disfunção das mitocôndrias fúngicas: a inibição do transporte de elétrons mitocondriais resultará em redução no potencial da membrana mitocondrial. A inibição pode ocorrer via inibição das bombas de prótons na cadeia respiratória, levando à redução na produção de ATP e subsequente morte celular (KIM et al., 2013).

Inibição da divisão celular: a inibição da divisão celular pode ocorrer via inibição da polimerização de microtúbulos, inibindo assim a formação do fuso mitótico (WALKER; WHITE, 2011).

Inibição da síntese de RNA/DNA ou síntese protéica: se o agente antifúngico entra na célula, por exemplo, através do transporte ativo nas ATPases, e interfere no RNA, pode causar uma síntese defeituosa do RNA e inibição da transcrição do DNA. A inibição da síntese de proteínas também é um alvo antifúngico conhecido (WALKER; WHITE, 2011).

Inibição de bombas de efluxo: as bombas de efluxo estão presentes em todas as células vivas e sua função é transportar substâncias tóxicas para fora da célula. Esse transporte geralmente inclui o transporte de drogas acumuladas para fora da célula fúngica. A superexpressão de bombas de efluxo pode levar à resistência ao fungicida. Ao inibir as bombas de efluxo, acredita-se que a resistência ao medicamento possa ser reduzida (KANG et al., 2010).

Um objetivo importante ao direcionar fungos é garantir que as células dos mamíferos não sejam afetadas pelo antifúngico, causando efeitos colaterais. Se o produto antifúngico não for específico para células fúngicas, o medicamento inibirá ou destruirá as células dos mamíferos, bem como as células fúngicas. Como mencionado acima, as células fúngicas contêm principalmente ergosteróis, enquanto as células de mamíferos contêm principalmente colesterol. Assim, inibindo a síntese de ergosterol ou a ligação do ergosterol ao medicamento antifúngico, as células de mamíferos podem não ser afetadas na mesma extensão, porque elas têm colesterol em vez de ergosterol (MYERS, 2006).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALA, F. *et al.* Inhibitory effect of allicin and garlic extracts on growth of cultured hyphae. **Iranian Journal of Basic Medical Sciences**, v. 17, n. 3, p. 150–154, 2014.

ABBASZADEH, S. *et al.* Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi. **Journal de Mycologie Médicale**, v. 24, n. 2, p. 51-56, 2014.

AGUIAR, R. W. S. *et al.* Fumigant antifungal activity of *Corymbia citriodora* and *Cymbopogon nardus* essential oils and citronellal against three fungal species. **The Scientific World Journal**, v. 3, p. 1-8, 2014.

AMEUR, E. *et al.* Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils from fifteen *Eucalyptus* species growing in the Korbous and Jbel Abderrahman arboreta (North East Tunisia). **Molecules**, v. 17, n. 3, p. 3044–3057, 2012.

AQUINO, C. F. *et al.* Composição química e atividade in vitro de três óleos essenciais sobre *Colletotrichum gloeosporioides* do maracujazeiro. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 2, p. 329-336, 2014.

ARA, M. K.; RAOFIE, F. Application of response surface methodology for the optimization of supercritical fluid extraction of essential oil from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel. **Journal of food science and technology**, v. 53, n. 7, p. 3113-3121, 2016.

ARAUJO, A. K. O. *et al.* Sanidade e qualidade fisiológica de sementes de *Chorisia Glaziovii* O. Kuntze tratadas com extratos vegetais. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 649-659, 2019.

BARRETO PINILLA, C. M. **Desenvolvimento, caracterização e avaliação da atividade microbiana de nanolipossomas contendo nisina e extrato de alho (*Allium sativum* L.)**. 2016. 103p. Dissertação (Mestrado em microbiologia agrícola e do ambiente) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

BATISH, D. R. *et al.* Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 12, p. 2166–2174, 2008.

BAYAN, L.; KOULIVAND, P. H.; GORJI, A. Garlic: a review of potential therapeutic effects. **Avicenna Journal of Phytomedicine**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2014.

BERKA-ZOUGALI, B. *et al.* Comparative study of essential oils extracted from Algerian *Myrtus communis* L. leaves using microwaves and hydrodistillation. **International Journal of Molecular Science**, v. 13, n. 4, p. 4673–4695, 2012.

BERTALOT, M. J. A. *et al.* Métodos alternativos para controle de doenças fúngicas na cultura de jambu (*Spilanthes oleraceae* L.) através de Equisetum sp e preparado biodinâmico 501, **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 264-274, 2010.

BRAGA, M. R. **Fitoalexinas e a defesa das plantas**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Marcia\\_Braga/publication/266282236\\_Fitoalexinas\\_e\\_a\\_Defesa\\_das\\_Plantas/links/55144a3b0cf283ee08351182/Fitoalexinas-e-a-Defesa-das-Plantas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcia_Braga/publication/266282236_Fitoalexinas_e_a_Defesa_das_Plantas/links/55144a3b0cf283ee08351182/Fitoalexinas-e-a-Defesa-das-Plantas.pdf). Acesso em: 30 dez. 2019.

CARMELLO, C. R.; CARDOSO, J. C. Effects of plant extracts and sodium hypochlorite on lettuce germination and inhibition of *Cercospora longissima* in vitro. **Scientia Horticulturae**, v. 234, n. 14, p. 245-249, 2018.

CHENG, A. X. *et al.* Plant terpenoids: Biosynthesis and ecological functions. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 49, n. 2, p. 179–186, 2007.

COMBRINCK, S.; REGNIER, T.; KAMATOU, G.P.P. In vitro activity of eighteen essential oils and some major components against common postharvest fungal pathogens of fruit. **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 2, p. 344-349, 2011.

COSTA, A. R. T. *et al.* Ação do óleo essencial de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry sobre as hifas de alguns fungos fitopatogênicos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. 2, p. 240-245, 2011.

CRUZ, T. P. *et al.* Atividade fungicida do óleo essencial de *Cymbopogon winterianus* jowit (citronela) contra *Fusarium solani*. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p. 1-8, 2015.

DIAS, J. P. T. *et al.* Extrato de alho na quebra do repouso vegetativo de amoreira-preta cultivada organicamente. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 2, p. 23, 2011.

DUŠAN, B. *et al.* Essential oil of *Eucalyptus gunnii* hook. As a novel source of antioxidant, antimutagenic and antibacterial agents. **Molecules**, v. 19, n. 11, p. 19007–19020, 2014.

ELSHARBINY, A. E.; AMIN, B. H.; BAKA, Z. A. Efficiency of pomegranate (*Punica granatum* L.) peels extract as a high potential natural tool towards *Fusarium* dry rot on potato tubers. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p. 256-263, 2016.

EVANS, D.; MITCH, C. Studies Directed towards the Total Synthesis of Morphine Alkaloids. **Tetrahedron Letters**, v. 23, n. 3, p. 285-288, 1982.

FADIJI, A. E. *et al.* Antimicrobial efficacy and phytochemical screening of aqueous and ethanolic extracts of *Ocimum gratissimum* (scent leaf) leaf against some clinical isolates. **Journal of Basic Pharmacology and Toxicology**, v. 2, n. 2, p. 19-24, 2018.

FAIROOZ, N. A.; FAIROOZ, H. A. Testing the efficiency of pomegranate alkaloid (*Punica granatum*) and sodium bicarbonate and their interaction in inhibition the growth of the fungus *Aspergillus ochraceus* isolated from zea mays. **Plant Archives**, v. 18, n. 1, p. 717-720, 2018.

FELIX, A. L. M.; MEDEIROS, I. L.; MEDEIROS, F. D. *Allium Sativum*: uma nova abordagem frente a resistência microbiana - uma revisão. **Brazilian Journal of health Review**, v. 1, n. 1, p. 201-207, 2018.

FURTADO, G. R. *et al.* Efeito do ácido pirolenhoso in vitro sobre isolados de *Botrytis cinerea*, *Cylindrocladium clavatum* e *Rhizoctonia solani*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 112, 2002

GARCIA, D. *et al.* *Equisetum arvense* hydro-alcoholic extract: phenolic composition and antifungal and antimycotoxigenic effect against *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides* in stored maize. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 9, p. 2248-2253, 2013.

GIVI, F.; GHOLAMI, M. Effect of pomegranate peel extract on green (*Penicillium digitatum*) and blue molds (*P. italicum*) of mandarin fruit. **Journal of Crop Production and Processing**, v. 9, n. 4, p. 171-185, 2020.

GOMES, E. M. C. *et al.* Efeito inibitório in vitro de extratos de *Cinnamomum zeylanicum* blume no controle de *Cylindrocladium candelabrum*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1559-1567, 2018.

GOMES, R. S. S. *et al.* Qualidade de sementes de *Bauhinia variegata* tratadas com óleos essenciais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, e201801647, p. 1-5, 2019.

GUERRA, M. J. M. *et al.* Evaluación toxicológica aguda de los extractos fluidos al 30 y 80% de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf (Caña Santa). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 5, n. 3, p. 97-101, 2000.

GUIMARÃES, L. G. L. *et al.* Atividades antioxidante e fungitóxica do óleo essencial de capim-limão e do citral. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 464-472, 2011.

HÜLLER, A. S. *et al.* Capacidade antifúngica do extrato vegetal de ruta graveolens sobre o desenvolvimento dos fungos apodrecedores gloeophyllum trabeum e pycnoporus sanguineus. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 6, n. 6, p. 31-43, 2019.

JURENKA, J. Therapeutic applications of pomegranate (*Punica granatum* L.): a review. **Alternative medicine review**, v. 13, n. 2, p. 128-144, 2008.

KANG, K.; FONG, W. P.; TSANG, P. W. Novel antifungal activity of purpurin against *Candida* species in vitro. **Medical Mycology**, v. 48, n. 7, p. 904-911, 2010.

KHAN, M. S. A.; AHMAD, I.; CAMEOTRA, S. S. Phenyl aldehyde and propanoids exert multiple sites of action towards cell membrane and cell wall targeting ergosterol in *Candida albicans*. **AMB Express**, v. 3, n. 1, p. 54, 2013.

KIM, J. H. *et al.* Targeting the mitochondrial respiratory chain of *Cryptococcus* through antifungal chemosensitization: a model for control of non-fermentative pathogens. **Molecules**, v. 18, n. 8, p. 8873-8894, 2013.

KUMAR, A. *et al.* Biological, medicinal and toxicological significance of *Eucalyptus* leaf essential oil: a review. **Journal of the Science of food and Agriculture**, v. 98, n. 3, p. 833-848, 2018.

LEITE, B. L. S. *et al.* Volatile constituents and behavioral change induced by *Cymbopogon winterianus* leaf essential oil in rodents. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 42, p. 8312-8319, 2011.

LORENZETTI, E. R. *et al.* Controle da ferrugem das folhas do capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) com produtos naturais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, n. 4, p. 571-578, 2012.

MACEDO, D. G. C. *et al.* Study of the control of fungus occurring in *Schizolobium amazonicum* seeds with the use of pyroligneous extract. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 31, n. 4, p. 1-9, 2019.

MANACH, C. *et al.* Polyphenols: Food sources and bioavailability. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 79, n.5, p. 727-747, 2004.

MASIH, H.; PETER, J. K.; TARIPATHI, P. A comparative evaluation of antifungal activity of medicinal plant extracts and chemical fungicides against four plant pathogens. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 3, n. 5, p. 97-109, 2014.

MASON, T. L.; WASSERMAN, B. P. Inactivation of Red beet beta-glucan synthase by native and oxidized phenolic compounds. **Phytochemistry**, v. 26, n. 8, p. 2197-2220, 1987.

MOHAMED, S. H. *et al.* Combination of essential oil and ciprofloxacin to inhibit/eradicate biofilms in multidrug-resistant *Klebsiella pneumoniae*. **Journal of Applied Microbiology**, v. 125, n. 1, p. 84-95, 2018.

MØLLER, B. L. Functional diversifications of cyanogenic glucosides. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 13, n. 3, p. 338-347, 2010.

MYERS, R. S. **VI Antifungal agents, in Immunizing and Antimicrobial Agents**. 2006. Disponível em: [http://courses.washington.edu/medch401/pdf\\_text/401\\_06\\_VI\\_Antifungal.pdf](http://courses.washington.edu/medch401/pdf_text/401_06_VI_Antifungal.pdf). Acesso em 18 ago. 2019.

NACZK, M; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of chromatography A**, v. 1054, n. 1-2, p. 95-111, 2004.

NICOLAOU, K. C.; CHEN, J. S.; COREY, E. J. **Classics in Total Synthesis. Further Targets, Strategies, Methods III III**. Weinheim: Wiley-VCH, 2011.

ORLANDO, F. B.; SILVA, A. F. G.; PARREIRA, M. W. F. Screening fitoquímico de espécimes de lauracea que ocorrem na região sul do estado de Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006.

PALLAG, A. M. *et al.* Analysis of phenolic compounds composition by HPLC and assessment of antioxidant capacity in *Equisetum arvense* l. extracts. **Revista de Chimie**, v. 67, n. 8, p. 1623-1627, 2016.

PANGALLO, S. *et al.* Evaluation of a pomegranate peel extract as an alternative means to control olive anthracnose. **Phytopathology**, v. 107, n. 12, p. 1462-1467, 2017.



PEREIRA, A. A. **Efeito inibitório de óleos essenciais sobre o crescimento de bactérias e fungos**. 2006. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

PEREIRA, K. C. *et al.* O. Avaliação de óleos essenciais na qualidade sanitária e fisiológica em sementes e mudas de *Schinus molle*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 71-78, 2016.

PEREIRA, R. B. *et al.* Potential of essential oils for the control of brown eye spot in coffee plants. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 115-123, 2011.

PERELLÓ, A.; GRUHLKE, M.; SLUSARENKO, A. J. Effect of garlic extract on seed germination, seedling health, and vigor of pathogen-infested wheat. **Journal of Plant Protection Research**, v. 53, n. 4, p. 317-323, 2013.

PERINI, V. B. M. *et al.* Effect of vegetal extract in the inhibition of mycelial growth of *Pyricularia grisea*. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 1, p. 70-77, 2013.

REHMAN, R. *et al.* Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. **Food Reviews International**, v. 32, n. 2, p. 117-160, 2016.

REYES-QUINTANAR, C. K. *et al.* Efecto del extracto de ruda (*Ruta graveolens*) en el crecimiento micelial de *Trichoderma*. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 5, n. 8, p. 1433-1446, dic. 2014.

RIZVI, A. H. *et al.* Biochemical activity of *Ocimum gratissimum* essential oil against fruit-rotting fungi *Penicillium expansum* and *Penicillium digitatum*. In: KHARWAR, R. N.; UPADHYAY, R.; DUBEY, N.; RAGHUWANSHI, R. (Eds) **Microbial Diversity and Biotechnology in Food Security**. India: Springer, p. 343-348. 2014.

ROCHA CALDAS, G. F. *et al.* Gastroprotective mechanisms of the monoterpene 1,8-cineole (eucalyptol). **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, e0134558, 2015.

RONGAI, D. *et al.* Effect of pomegranate peel extract on shelf life of 1 fresh strawberries: Phytochemical analysis, antifungal activity and possible mechanisms involved. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2702-2711, 2018.

SABERI, M. *et al.* The effectiveness of wood vinegar in controlling *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia sclerotiorum* in green house-cucumber. **International Journal of Agricultural Research and Natural Resources**, v. 1, n. 4, p. 39-43, 2013.

SALMAN, H. A. *et al.* Determination of antibacterial activity and metabolite profile of *Ruta graveolens* against *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sobrinus*. **Journal of laboratory physicians**, v. 10, n. 3, p. 320, 2018.

SANGWAN, N.S. *et al.* Regulation of essential oil production in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 1, p. 3-21, 2001.

SARFRAZ, M. *et al.* Promising antifungal potential of selective botanical extracts, fungicides and *Trichoderma* isolates against *Alternaria solani*. **Cercetări Agronomice în Moldova**, v. 51, n. 1, p. 65-74, 2018.

SELMAR, D. Biosynthesis of cyanogenic glycosides, glucosinolates and nonprotein amino acids. **Annual Plant Reviews online**, v. 40, p. 77-146, 2018.

SENEME, A. M. *et al.* Controle de patógenos em sementes de sorgo com óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (D. C.) Stapf. **Nucleus**, v. 16, n. 2, p. 433-440, 2019.

SHAHIDI, E.; YEO, J. D. Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: a review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 6, p. 1573, 2018.

SHREAZ, S. *et al.* Spice oil cinnamaldehyde exhibits potent anticandidal activity against fluconazole resistant clinical isolates. **Fitoterapia**, v. 82, n. 7, p. 1012-1020, 2011.

SILVA, L. L. *et al.* Essential oil of *Ocimum gratissimum* L.: Anesthetic effects, mechanism of action and tolerance in silver catfish, *Rhamdia quelen*. **Aquaculture**, v. 350- 353, p. 91-97, 2012.

SIMÕES, C. M. O. *et al.* **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Florianópolis: UFSC, 2010. 1104 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TEHRANIFAR, A. *et al.* High potential of agro-industrial by-products of pomegranate (*Punica granatum* L.) as the powerful antifungal and antioxidant substances. **Industrial Crops and Products**, 34, 1523-1527, 2011.

THOLL, D. Biosynthesis and biological functions of terpenoids in plants. **Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology**, v. 148, p. 63-106, 2015.

TSUCHIYA, H. *et al.* Inhibition of the growth of carcinogenic bacteria in vitro by plant flavones. **Experientia**, v. 50, n. 9, p. 846- 849, 1994.

ULRIKE, A. F.; REINHOLD, C.; DIETMAR, R. K. Identification and quantification of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel, mesocarp, aril and differently produced juices by HPLC-DAD-ESI/MS(n). **Food Chemistry**, v. 127, n. 2, p. 807–821, 2011.

VENTUROSIO, L. D. R. *et al.* Atividade antifúngica de extratos vegetais sobre o desenvolvimento de fitopatógenos. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 1, p. 18-23, 2011.

WALKER, G.; WHITE., N. Introduction to Fungal Physiology. In: KAVANAGH, K. (ed). **Fungi: Biology and Applications**. John Wiley and Sons, Ltd, UK. 2011.

WU, Q. *et al.* Study on the preparation of wood vinegar from biomass residues by carbonization process. **Bioresource Technology**, v. 179, p. 98-103, 2015.

WU, Y.; YANG, Q. O.; TAO, N. Plasma membrane damage contributes to antifungal activity of citronellal against *Penicillium digitatum*. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 10, p. 3853-3858, 2016.

ZHOU, L.J. *et al.* Optimization of supercritical CO<sub>2</sub> extraction conditions for essential oil from *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* using Box-Behnken design-response surface methodology. **Journal of Sichuan University**, v. 51, p. 1319–1324, 2014.

## **OS AUTORES**

### **Carla Michelle da Silva**

Doutora em Fitotecnia (UFV). Mestre em Agronomia/Fitotecnia (UFPI). Especialista em Gestão Ambiental (FINOM), em Biologia e Química (URCA) e em Consultoria e Licenciamento Ambiental (Faculdade Única de Ipatinga). Graduada em Ciências Biológicas (Universidade Iguazu), em Engenharia Agrônômica (UESPI) e em Pedagogia (Faculdade Única de Ipatinga).

### **Antônio Veimar da Silva**

Doutor em Agronomia (UFPB). Mestre em Ensino de Ciências e Matemática (UNICSUL). Especialista em Engenharia de Segurança no Trabalho (Faculdade Única de Ipatinga), em Fitotecnia (IFPI), em Proteção de Plantas (UFV), em Ensino de Matemática (UCAM), em Docência do Ensino Superior (PROGRAMUS). Graduado em Engenharia Agrônômica (UESPI), em Matemática (UESPI), em Pedagogia (UFPI)

### **Luis Carlos dos Anjos Cortez**

Especialista em Gestão Ambiental (FIJ), em Ciências agrárias de convivência no semiárido (IFPI), Docência Superior (FAPAF), Segurança do Trabalho (FIJ) e Graduado em Engenharia Agrônômica (UESPI).

### **Bruno Antonio Lemos de Freitas**

Doutor em Fitotecnia (UFV); Mestre em Ciências (UFS), Especialista em Ensino Profissional e Tecnológico (IFSudesteMG) e Engenheiro Florestal (UFS)

### **Jorge Luís Carvalho Silva**

Mestre em Defesa Sanitária Vegetal (UFV). Especialista em Engenharia e Manejo de Irrigação (UFV). Especialista em Proteção de Plantas (UFV), Especialista em Docência para Educação Profissional, Científica e Tecnológica (IFPA), Graduado em Agronomia (UEMA). Professor EBTT (IFPA), Campus Conceição do Araguaia.

