

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA
ESCOLA TÉCNICA DE MAUÁ
Ensino Médio Integrado ao Técnico de Química**

Gabriel Matos Souza

Pedro Souza Gonçalves

Pedro Squarelli Souza

Victor Antonio de Deus

Vitor César Dos Santos

**BIOFUNGICIDA A BASE DE EXTRATO DE ALHO E ÓLEO DE
CRAVO-DA-ÍNDIA**

Mauá, SP

2025

Gabriel Matos Souza
Pedro Souza Gonçalves
Pedro Squarelli Souza
Victor Antonio de Deus
Vitor César Dos Santos

**BIOFUNGICIDA A BASE DE EXTRATO DE ALHO E ÓLEO DE
CRAVO-DA-ÍNDIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Técnico em
Química da Etec Mauá, orientado pelas
professoras Camila de Souza Oliveira;
Karen Cristine Bergamo Nabarro, como
requisito parcial para obtenção do título
de técnico em Química.

Mauá, SP
2025

Agradecimento

O grupo agradece ao corpo docente da Etec de Mauá. Agradecemos a professora Camila de Souza Oliveira, Karen Cristine Bergamo Nabarro, ao professor Jeferson e ao coordenador de curso, Roberto Sanchez, por darem todo suporte e apoio necessário para a produção do nosso trabalho.

Para as demais pessoas que ajudaram o grupo, temos que agradecer a Nathália Lourenço Ribeiro, auxiliar de laboratório, e aos outros grupos que ajudaram na produção do nosso trabalho.

RESUMO

Os biofungicidas são agentes naturais capazes de inibir o desenvolvimento de fungos fitopatogênicos, originados de microrganismos benéficos, como bactérias e fungos, ou de substâncias derivadas do metabolismo de plantas e microrganismos, sendo menos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente e representando uma alternativa mais econômica e viável para o combate às doenças fúngicas. Com o aumento da população, a agricultura precisa garantir maior produção de alimentos, porém os fungos causam grandes perdas nas colheitas, como ocorre com *Botrytis cinerea*, *Cladosporium fulvum* e *Magnaporthe oryzae*, que afetam culturas como arroz, trigo e soja. O alho (*Allium sativum*) é uma excelente alternativa como biofungicida devido às suas propriedades antifúngicas e antibacterianas, sendo sua principal substância ativa a alicina, formada por uma reação enzimática entre a enzima alinase e o composto aliina, liberados quando as células do alho são rompidas. A alicina, com forte atividade antimicrobiana, tem mostrado eficácia contra diversas espécies fúngicas, com concentrações inibitórias mínimas entre 6 e 12 µg/mL para *C. neoformans* e 7 µg/mL para *Candida*, e seu mecanismo de ação pode envolver a inibição de enzimas tiol nas células fúngicas, embora o processo não seja totalmente compreendido, além de estudos indicarem que a alicina apresenta sinergia com o antifúngico anfotericina.

ABSTRACT

Biofungicides are natural agents capable of inhibiting the development of phytopathogenic fungi, originating from beneficial microorganisms such as bacteria and fungi, or from substances derived from the metabolism of plants and microorganisms, and they are less harmful to human health and the environment, making them a more economical and viable alternative for combating fungal diseases. With the increase in population, agriculture must ensure higher food production; however, fungi cause significant losses in crops, such as *Botrytis cinerea*, *Cladosporium fulvum*, and *Magnaporthe oryzae*, which affect crops like rice, wheat, and soybeans. Garlic (*Allium sativum*) is an excellent alternative as a biofungicide due to its antifungal and antibacterial properties, with its main active substance being allicin, formed through an enzymatic reaction between the enzyme alliinase and the compound alliin, released when garlic cells are broken. Allicin, with strong antimicrobial activity, has shown effectiveness against various fungal species, with minimum inhibitory concentrations between 6 and 12 µg/mL for *C. neoformans* and 7 µg/mL for *Candida*, and its mechanism of action may involve the inhibition of thiol enzymes in fungal cells, although the process is not fully understood, and studies also indicate that allicin has synergy with the antifungal amphotericin.

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 BIOFUNGICIDA	7
1.2 MECANISMO DE REAÇÃO ENZIMÁTICA DA ALICINA.....	8
1.3 EUGENOL.....	9
2. OBJETIVO GERAL.....	11
2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO:.....	11
3. METODOLOGIA	12
4 MATERIAIS E REAGENTES	13
4.1 MATERIAIS	13
4.2 REAGENTES	13
4.3 EQUIPAMENTOS	13
5 PROCEDIMENTO.....	14
5.1 MACERAÇÃO DO ALHO	14
5.2 EXTRAÇÃO ALCOÓLICA	15
5.3 EXTRAÇÃO SOXHLET	15
5.4 PREPARAÇÃO DO MEIO DE CULTURA.....	17
5.5 FORMULAÇÕES.....	17
5.6 TESTE MICROBIOLÓGICO.....	17
6. RESULTADO E DISCUSSÃO	20
7. CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

1.1 BIOFUNGICIDA

Os biofungicidas são produtos de origem natural utilizados no controle de doenças causadas por fungos fitopatogênicos, atuando como uma alternativa sustentável aos fungicidas químicos convencionais. Eles podem ser compostos por microrganismos vivos, como bactérias e fungos benéficos, que competem com os patógenos ou produzem substâncias antifúngicas, ou ainda por metabólitos secundários derivados do metabolismo de microrganismos e extratos vegetais com propriedades antifúngicas. Esses agentes atuam de diferentes formas, como pela inibição do crescimento do fungo, bloqueio da germinação de esporos, destruição da estrutura celular ou estímulo das defesas naturais da planta hospedeira (PAL & GARDENER, 2006; SPADARO & DROBY, 2016; ARREBOLA *et al.*, 2010).

Devido à sua origem biológica, os biofungicidas apresentam baixa toxicidade, sendo geralmente seguros para os seres humanos, animais e organismos benéficos do solo. Além disso, têm menor impacto ambiental, pois são biodegradáveis e não deixam resíduos tóxicos no ambiente ou nos alimentos. Isso os torna especialmente vantajosos em sistemas de produção orgânica e agricultura sustentável, onde o uso de produtos químicos sintéticos é limitado ou indesejado (FRAVEL, 2005; GLARE *et al.*, 2012).

Outro benefício importante é a menor probabilidade de desenvolvimento de resistência pelos patógenos, uma vez que muitos biofungicidas atuam por múltiplos mecanismos simultaneamente, dificultando a adaptação dos fungos-alvo. Por essas razões, os biofungicidas vêm sendo cada vez mais reconhecidos como uma alternativa viável, econômica e ecologicamente correta para o manejo de doenças fúngicas em diferentes culturas agrícolas (PERTOT *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Em medida que a população cresce, é necessário um maior abastecimento de alimento para consumo da mesma, porém, os fungos são um dos problemas mais agravantes na agricultura, as infecções destroem anualmente em média 125 milhões

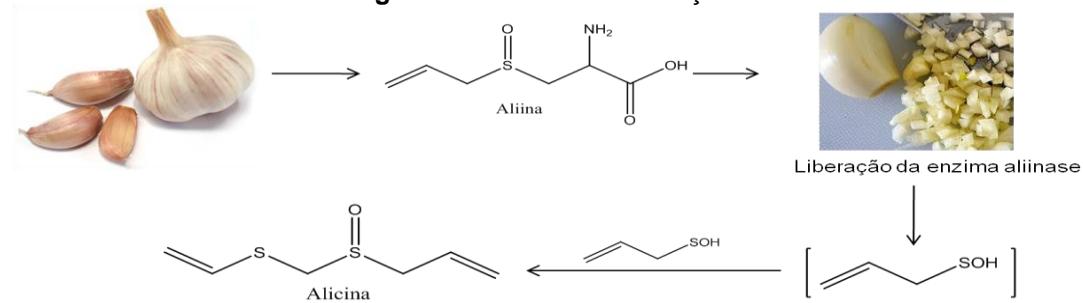
de toneladas de arroz, trigo, milho, batatas, soja e entre outros alimentos de colheita (HENK *et. al*, 2012). Algumas infecções fúngicas são comuns em plantações, como o *Botrytis cinerea* (mofo cinzento) causando mofo e/ou descoloração marrom, *Cladosporium fulvum* (Passalora fulva) que apresenta sintomas como lesões nas folhas e frutos, com manchas amarelas na face superior da folha e o *Magnaporthe oryzae* apresentando sintomas como manchas nas folhas, lesões nos colmos e infecção das espigas.

Como alternativa a um biofungicida, o alho e o cravo-da-índia possuem uma ótima propriedade antifúngica e antibacteriana, enquanto o bioativo do alho é a alicina o bioativo do cravo-da-índia possui o eugenol em sua composição. A alicina é o bioativo presente no alho sendo caracterizada pelo forte odor e cheiro peculiar do alho (*Allium sativum*), por sua vez ela é um composto sulfurado sendo extraída pela Trituração ou maceração do alho (RAELE, 2024). Em contrapartida, o eugenol é um composto classificado como um fenilpropeno presente no óleo essencial de cravo-da-índia, caracterizado pelo aroma do *Syzygium aromaticum* (cravo-da-índia) (ASCENÇÃO; FILHO, 2013).

1.2 MECANISMO DE REAÇÃO ENZIMÁTICA DA ALICINA

A alicina é um composto formado pela reação enzimática da alinase, quando ela entra em contato com o composto aliina também presente no alho (LAWSON, 2010). A formação da alicina acontece quando as paredes celulares do alho se partem e uma enzima chamada alliinase é liberada e transforma a aliina em alicina, como apresentado na figura 1.

Figura 1: Mecanismo de reação da alicina



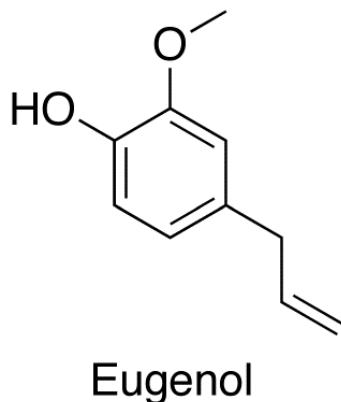
Fonte: Sociedade Brasileira de Química, [s.d]

A alicina é a principal responsável pela atividade antimicrobiana e antifúngica, com concentrações inibitórias mínimas variando entre 6 e 12 µg/mL contra os fungos da espécie *C. neoformans* e 7 µg/mL contra a família da *Candida auris* (SILVA et.al, 2017).

1.3 EUGENOL

O eugenol (figura 2), é um composto fenólico natural amplamente distribuído em diversas espécies vegetais, sendo encontrado em maior concentração no óleo essencial extraído dos botões florais secos do cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*). Além do cravo, também está presente, em menores quantidades, em outras plantas aromáticas como a canela (*Cinnamomum zeylanicum*) e o manjericão (*Ocimum basilicum*). Esse composto possui um aroma marcante, frequentemente descrito como quente e picante, e é reconhecido por suas múltiplas propriedades biológicas. Devido a essas características, o eugenol tem sido amplamente empregado em diversos setores industriais, incluindo as indústrias farmacêutica, alimentícia, cosmética e agrícola, desempenhando funções que vão desde conservante natural até agente terapêutico (KAMATOU et al., 2012; MARCHESE et al., 2017).

Figura 2: Cadeia carbônica do eugenol presente no cravo-da-índia ($C_{10}H_{12}O_2$)



Fonte: *Unidad de Informática del Instituto de Química, 2015*

Dentre suas diversas propriedades biológicas, uma das mais estudadas é a atividade antifúngica. Essa ação ocorre, principalmente, pela capacidade do eugenol de interagir com os lipídios da membrana celular dos fungos, promovendo sua desestabilização. Como consequência, há o comprometimento da integridade da

membrana, resultando no vazamento de íons, proteínas e outros componentes intracelulares essenciais, o que leva à inibição do crescimento e eventual morte da célula fúngica. Além disso, o eugenol tem demonstrado eficácia na inibição da germinação de esporos, da produção de hifas e da formação de biofilmes, estruturas que conferem resistência aos fungos em ambientes adversos. Estudos também apontam que o eugenol pode afetar processos enzimáticos e o metabolismo energético dos microrganismos, contribuindo para sua ação antifúngica de amplo espectro (TAMPIERI *et al.*, 2005; PINTO *et al.*, 2009; AHMAD *et al.*, 2010).

Devido a esses mecanismos de ação multifacetados e à sua baixa toxicidade quando utilizado em concentrações adequadas, o eugenol vem sendo considerado uma alternativa viável e sustentável aos fungicidas sintéticos, especialmente no controle de fungos fitopatogênicos que afetam culturas agrícolas de importância econômica. Sua aplicação como agente antifúngico natural também se mostra promissora por apresentar menor risco de desenvolvimento de resistência, além de reduzir os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Essa combinação de eficácia, segurança e sustentabilidade reforça o potencial do eugenol como um importante aliado no manejo integrado de doenças fúngicas (HYLDGAARD *et al.*, 2012; BAKKALI *et al.*, 2008).

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso do extrato de alho e do cravo-da-índia como fungicida natural no controle de doenças fúngicas, promovendo a sustentabilidade agrícola sem causar danos ao meio ambiente, à saúde e ao solo.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO:

Este trabalho tem como objetivos específicos investigar a ação antifúngica do extrato de alho e do cravo-da-índia, analisar seus benefícios para a saúde do solo e das plantas, e apresentar alternativas naturais como calda bordalesa, óleo de neem e Trichoderma, com o intuito de incentivar práticas agrícolas mais sustentáveis.

3. METODOLOGIA

Artigos científicos foram pesquisados, utilizando seleção do idioma em português, inglês e espanhol nas plataformas de pesquisa, Google Acadêmico, Scielo, USP, UNESP, UFMA, National Library of Medicine. Usando descritores como: Extrato de alho; *Allium sativum*; *Syzygium aromaticum*; cravo-da-índia; óleo essencial; fungicida; biofungicida; fungo; fitopatologia.

Critério para exclusão da pesquisa feita: Artigos impertinentes ao tema, conteúdo sem comprovação científica, fontes não-confiáveis. Enquanto os critérios de inclusão foram: relevância científica, dados comprovados cientificamente, trabalhos de conclusão de curso encontrados no Google Acadêmico/ UNESP/ Scielo/ USP ou UFMA.

As pesquisas foram realizadas a partir de levantamentos científicos do período de 2007 a 2025.

4 MATERIAIS E REAGENTES

4.1 MATERIAIS

- Almofariz e pistilo;
- Pano de algodão, gaze esterilizada ou filtro de papel;
- Becker de vidro (250mL);
- Bastão de vidro;
- Placa de Petri;
- Vidro de relógio;
- Pipeta de Pasteur;
- Espátula;
- Funil de vidro;
- Balão de fundo redondo;
- Suporte universal.

4.2 REAGENTES

- Etanol 70% ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$);
- Alho (*Allium sativum L.*);
- Água (H_2O);
- Óleo de Cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*).

4.3 EQUIPAMENTOS

- Manta aquecedora;
- Soxhlet;
- Balança analítica;
- Chapa aquecedora;
- Estufa.

5 PROCEDIMENTO

5.1 MACERAÇÃO DO ALHO

Iniciou-se descascando cada bulbo de alho resultando em 1 kg em seu total. Posteriormente, macerou-se cada bulbo no almofariz com pistilo. O alho macerado foi transferido para um Becker, e fechado com plástico filme PVC, após isso foi mantido em temperatura amena para a conservação da alicina.

Imagen 1: Descamação do alho

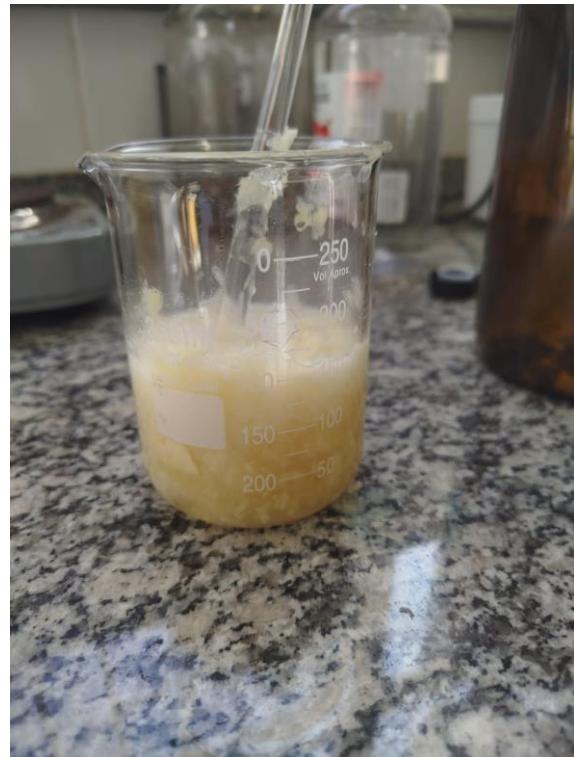


Fonte: Autoria própria, 2025

5.2 EXTRAÇÃO ALCOÓLICA

Para a primeira formulação foi pesado 84,4 g de alho macerado em um Becker de 250ml, logo após foi adicionado 200ml de álcool cereal e transferido para um frasco âmbar de 1l, deixou-se a solução por uma semana para a extração do princípio ativo do alho.

Imagen 2: Extração alcoólica



Fonte: Autoria própria, 2025

Após uma semana a solução foi destilada para aumentar a concentração de alicina no composto. Ao extrair o destilado obteve-se 200ml de produto, e assim armazenado.

5.3 EXTRAÇÃO SOXHLET

Para a segunda formulação foi pesado 20,66g de alho macerado em um cartucho de papel de filtro e transferido para o frasco extrator do Soxhlet.

Imagen 3: Extração Soxhlet



Fonte: Autoria Própria, 2025

Deixou-se a matéria prima por 2 ciclos completos e transferiu-se para um frasco âmbar de 260ml.

Imagen 4: Produto extraído Soxhlet



Fonte: Autoria Própria, 2025

5.4 PREPARAÇÃO DO MEIO DE CULTURA

Foi pesado 5,2 gramas de ágar Sabourad Detrox e despejou-se em 90ml de água fervente até dissolver-se na água, deixou-se em descanso e após o resfriamento foi redirecionado para a autoclave, iniciando o processo de esterilização.

Imagen 5: Ágar Sabourad Detrox esterilizado



Fonte Autoria Própria, 2025

Com o processo da autoclave concluído foi transferido para 3 placas de Petri diferente, um valor de 20 ml cada uma, e esperou-se até a solidificação do meio.

5.5 FORMULAÇÕES

As formulações de cada extração foram produzidas adicionando, 1% de óleo de cravo-da-índia, 15% de extrato de alho concentrado (extração alcoólica na primeira formulação e extração Soxhlet na segunda formulação), e 84% de álcool cereal.

5.6 TESTE MICROBIOLÓGICO

Coletou-se uma tangerina contaminada com fungo, para a inicialização do teste microbiológico.

Imagen 6: Amostra de tangerina contaminada



Fonte: Autoria Própria, 2025

Após a esterilização do ágar foi retirado da autoclave e levado ao fluxo laminar para a inicialização das técnicas de esgotamento. Preparou-se a solução de contaminantes da tangerina passando a alça descartável contaminada para o tubo de ensaio com 2ml de água, em seguida foi borrifado as formulações em duas placas distintas para a observação da proliferação de microrganismos que poderia se desenvolver, a terceira placa não se utilizou nenhuma formulação para comparação.

Passados 7 dias (uma semana), analisou-se o crescimento de micróbios para avaliar a melhor formulação a se fazer.

Imagen 7: Produção dos meios de cultura dentro do fluxo laminar



Fonte: Autoria Própria, 2025

6. RESULTADO E DISCUSSÃO

Na finalização do nosso projeto, obteve-se resultados satisfatórios de acordo com as pesquisas realizadas e praticadas em laboratório. Sintetizou-se 1 litro de biofungicida conforme o esperado que foram envasados em frascos de 100ml.

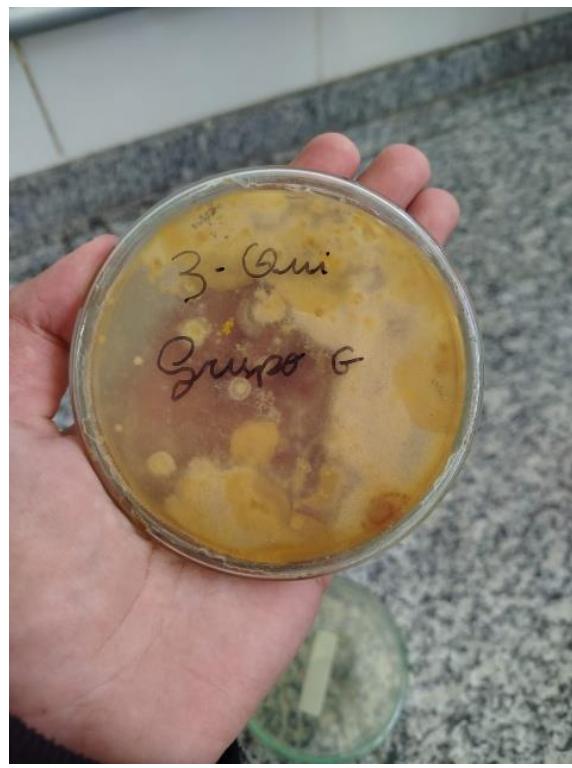
Imagen 8: Produto finalizado



Fonte: Autoria própria

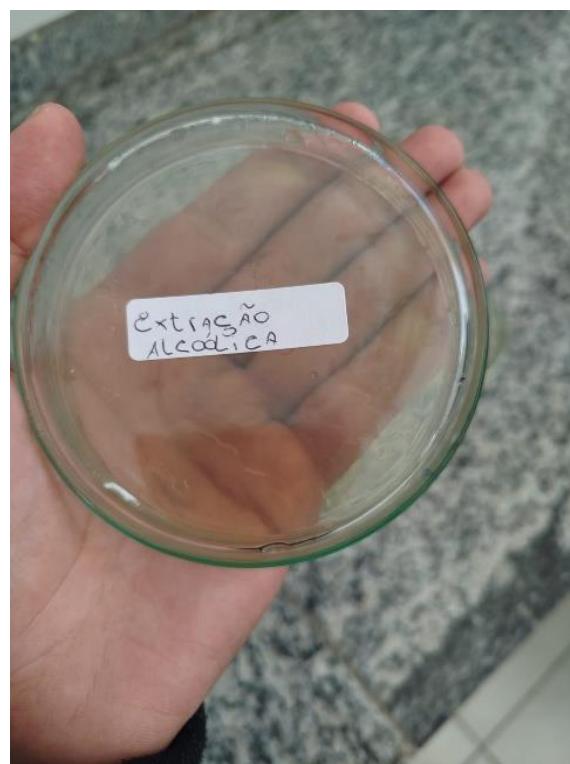
Para a verificação da eficiência do produto foram realizados testes microbiológicos que não apresentaram crescimento microbiológico confirmando a eficácia das matérias primas escolhidas contra o crescimento fúngico, como evidenciado nas imagens registradas abaixo.

Imagen 9: Placa de Petri contaminada



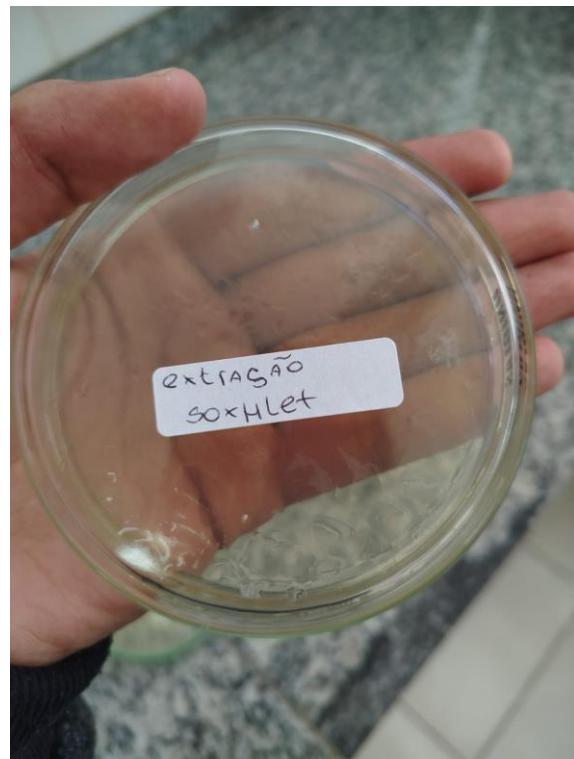
Fonte: Autoria própria, 2025

Imagen 10: Placa de petri contaminada com o produto finalizado – extração alcóolica



Fonte: Autoria própria, 2025

Imagen 11: Placa de petri contaminada com o produto finalizado – extração Soxhlet

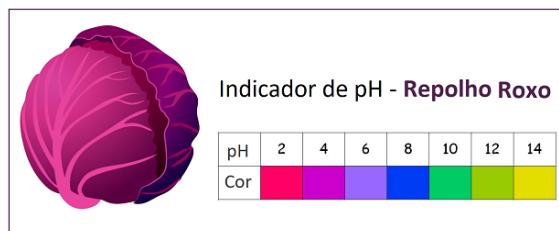


Fonte: autoria própria, 2025

Após analisado que ambas as formulações resultaram em nenhum crescimento de colônias microbiológicas, optou-se pela formulação mais viável economicamente de se produzir em laboratório, a extração alcóolica, entretanto essa formulação se tornou a principal opção do projeto.

Para a análise do pH foi utilizado um método qualitativo do repolho roxo, tendo assim uma concentração 5 de pH, segundo a tabela da figura 3.

Figura 3: Tabela qualitativa da reação do repolho para análise de pH



Fonte: saber atualizado, 2019

Imagen 12: Análise qualitativa do pH do biofungicida na solução de repolho



Fonte: Autoria própria, 2025

Ao analisar o pH foi observado um pH com a concentração de 4 a 6, aproximadamente 5. O fungicida deve estar com um potencial de hidrogênio de 5 a 7, para evitar lesões ou morte das plantas, sendo ainda mais eficaz contra os microrganismos fitopatogênicos (SCHILDER, 2008).

7. CONCLUSÃO

O biofungicida feito a partir de extratos de alho e cravo-da-índia mostrou bom desempenho, evidenciando o valor de alternativas sustentáveis para o controle de fungos agrícolas, já que essas soluções tendem a ser menos tóxicas e mais compatíveis com práticas ecológicas. Sua eficiência está ligada principalmente à alicina, capaz de impedir o desenvolvimento de diversos fungos, e ao eugenol, que reforça a ação antimicrobiana ao desestabilizar a membrana celular dos patógenos. Considerando que fungos causam grandes prejuízos à produção de alimentos, o estudo se torna ainda mais relevante por contribuir para estratégias mais seguras de manejo. A análise de pH também indicou que o produto apresenta condições adequadas para uso agrícola. Assim, o biofungicida demonstra potencial para substituir, total ou parcialmente, produtos químicos tradicionais, oferecendo boa eficácia, menor impacto ambiental e viabilidade econômica dentro de sistemas agrícolas sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- GURR, Sarah; et al. Infecções fúngicas afetam a produção de alimentos e ameaçam a biodiversidade. *Nature*, [S.I.], [data], [p.]. Disponível em: <https://www.nature.com/articles>. Acesso em: 13 maio 2025.
- FISHER, M. C.; HENK, D. A.; BRIGGS, C. J.; BROWNSTEIN, J. S.; MADOFF, L. C.; McCRAW, S. L.; GURR, S.J. Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*, v. 484, n. 7393, p. 186–194, 12 abr. 2012.
- SILVA, G. M. da; VASCONCELOS, L. F. L. de; SOUZA, R. D. de. O alho (*Allium sativum* L.) como antimicrobiano natural na conservação de alimentos e principais tecnologias para sua aplicabilidade: uma visão atual. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 15, e 458111531580, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/365128429>. Acesso em: 13 maio 2025.
- RAELE, Rosana. *Como tirar a alicina do alho?* Portal Insights, 2024. Disponível em: <https://www.portalinsights.com.br/perguntas-frequentes/como-tirar-a-alicina-do-alho>. Acesso em: 13 maio. 2025
- ASCENÇÃO, V. L.; MOUCHREK FILHO, V. E. Extração, caracterização química e atividade antifúngica de óleo essencial de *Syzygium aromaticum* (cravo-da-índia). 2013. 1 f. Trabalho apresentado no XVII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica; XIII Encontro de Pós-Graduação; III Encontro de Iniciação à Docência, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 9 out. 2013. Disponível em: repositório da UFMA. Acesso em: 13 maio. 2025.
- MARCHESE, A. et al. Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature. *Food Chemistry*, [S.I.], v. 210, p. 402–414, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.111>. Acesso em: 11 de junho de 2025.
- Arrebola, E., Sivakumar, D., & Korsten, L. (2010). Effect of volatile compounds produced by *Bacillus* strains on postharvest decay in citrus. *Biological Control*, 53(1), 122–128.
- Fravel, D. R. (2005). Commercialization and implementation of biocontrol. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 337–359.
- Glare, T., Caradus, J., Gelernter, W., Jackson, T., Keyhani, N., Köhl, J., ... & Stewart, A. (2012). Have biopesticides come of age? *Trends in Biotechnology*, 30(5), 250–258.
- Oliveira, R. C., Moraes, M. G., & Romeiro, R. D. S. (2016). Biofungicidas: uma alternativa sustentável para o controle de doenças de plantas. *Revista Agrogeoambiental*, 8(1), 129–138.
- Pal, K. K., & Gardener, B. M. (2006). Biological control of plant pathogens. *The Plant Health Instructor*, DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02.

Pertot, I., et al. (2017). Integrated control of downy mildew on grapevine with copper formulations and resistance inducers under field conditions. *Crop Protection*, 96, 165–173.

Spadaro, D., & Droby, S. (2016). Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. *Trends in Food Science & Technology*, 47, 39–49.

AHMAD, A. et al. Evolution of ergosterol biosynthesis inhibitors as fungicidal against *Candida*. *Microbial Pathogenesis*, [S.I.], v. 48, n. 1, p. 35–41, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2009.10.003>. Acesso em: 11 de junho de 2025.

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils in food preservation: Mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, [S.I.], v. 3, p. 12, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>. Acesso em: 11 de junho de 2025.

FRAVEL, D. R. Commercialization and implementation of biocontrol. *Annual Review of Phytopathology*, v. 43, p. 337–359, 2005.

GLARE, T. R. et al. Have biopesticides come of age? *Trends in Biotechnology*, v. 30, n. 5, p. 250–258, 2012.

DE CAL, A.; LARENA, I.; GUIJARRO, B.; MELGAREJO, P. Use of biofungicides for controlling plant diseases to improve food availability. *Agriculture*, v. 2, n. 2, p. 109–124, 2012.

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 2012.

LAWSON, Larry D.; WANG, Z. Jonathan. Low allicin release from garlic supplements: a major problem due to the sensitivities of alliinase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v. 49, n. 5, p. 2592–2599, 2001. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf001287m>. Acesso em: 13 maio 2025.

MIRON, I.; RABINKOV, A.; ELAD, Y.; MIRELMAN, D. Antifungal properties of garlic (*Allium sativum*) and its constituents. *Phytopathology*, v. 92, n. 6, p. 602–607, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.6.602>. Acesso em: 13 maio 2025.

LI, Lihua et al. Ajoeno e alicina: compostos bioativos do alho com atividade antimicrobiana. *Phytotherapy Research*, v. 27, n. 3, p. 401–407, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22961627/>. Acesso em: 13 maio 2025.

SCHILDER, A. Effect of water pH on the stability of pesticides. 2008. Disponível em: https://www.canr.msu.edu/news/effect_of_water_ph_on_the_stability_of_pesticides#:~:text=The%20pH%20of%20water%20can%20negatively%20affect%20the,which%20degrades%20the%20pesticide%20to%20non-toxic%20%28inactive%29%20forms/. Acesso:12/11/2025

SABER ATUALIZADO. Como funciona o indicador de pH à base de repolho roxo? Disponível em: <https://www.saberatualizado.com.br/2019/11/como-funciona-o-indicador-de-ph-base-de.html>. Acesso em: 12 nov. 2025.

ALIINA. Química Nova Interativa. Disponível em: https://qnint.sbj.org.br/qni/popup_visualizarMolecula.php?id=IrAZh9aCh2hB8W_MfOwpzujcDj6dGfeiUx8NA2WMrM8hjdxip_fFth76pGdluJKglUhC17qiqsq-4RlcIg-OA. Acesso em: 13 maio 2025.

Marmitt et al. (2016). Determinação de ácido cítrico e pH em diferentes cultivares do limão e marcas de sucos artificiais de limão em pó. Univates (Destaques Acadêmicos), Vol.8, n°. 4. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v8i4a2016.1226>

