



APLICAÇÃO DE BIOPLÁSTICO À BASE DE ALGINATO DE SÓDIO PARA A CONSERVAÇÃO DO TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

Alícia Magalhães Leandro¹
Ana Luiza de Lima Novaes¹
Bruna Barros de Souza¹
Julia Souza Silva¹
Ketelin de Jesus Estevam¹

Orientadora: Prof^a. Especialista Thais Taciano dos Santos
Coorientadora: Prof^a Dr^a Aline Alves Ramos

RESUMO

De acordo com a FAO (2023), 14% dos alimentos são perdidos entre a colheita e o varejo. Este estudo, alinhado aos ODS da Agenda 2030, buscou reduzir o desperdício por meio da conservação do tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando um bioplástico comestível e biodegradável à base de alginato de sódio, um polissacarídeo natural. O material foi reticulado com nitrato de cálcio para maior resistência, combinado com o óleo essencial de alecrim, conhecido pela sua propriedade antimicrobiana. Os tomates foram distribuídos em grupos com e sem revestimento, armazenados em temperatura ambiente ou refrigerados. Foram realizadas avaliações visuais dos frutos, a biodegradabilidade do alginato em solo por 30 dias e a atividade antimicrobiana do óleo essencial. Os resultados demonstraram que os tomates revestidos apresentaram menor deterioração visual, especialmente sob refrigeração. O teste de biodegradabilidade indicou que o filme de alginato apresentou degradação progressiva no solo, com perda de integridade visível ao longo de 30 dias. Assim, conclui-se que o bioplástico de alginato de sódio, combinado ao óleo essencial de alecrim, mostrou-se uma alternativa promissora para a conservação pós-colheita do tomate, contribuindo para a redução do desperdício e para práticas mais sustentáveis no manejo de alimentos.

Palavras-chave: Bioplástico. Tomate. Alginato de sódio. Óleo de alecrim.

ABSTRACT

According to the FAO (2023), 14% of food is lost between harvest and retail. This study, aligned with the SDGs of the 2030 Agenda, sought to reduce waste through the preservation of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) using an edible and biodegradable bioplastic based on sodium alginate, a natural polysaccharide. The material was cross-linked with calcium nitrate for greater resistance, combined with rosemary essential oil, known for its antimicrobial properties. The tomatoes were distributed into groups with and without coating, stored at room temperature or refrigerated. Visual assessments of the fruit, the biodegradability of the alginate in soil for 30 days, and the antimicrobial activity of the essential oil were performed. The results showed that the coated tomatoes had less visual deterioration, especially when refrigerated. The biodegradability test indicated that the alginate film showed progressive degradation in the soil, with visible loss of integrity over 30 days. Thus, it is concluded that sodium alginate bioplastic, combined with rosemary essential oil, proved to be a promising alternative for post-harvest conservation of tomatoes, contributing to waste reduction and more sustainable practices in food management.

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
analuizalimanovaes2@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

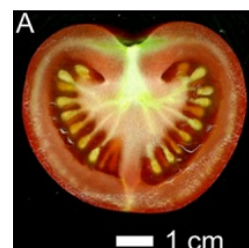
O padrão de consumo e de produção sustentáveis é um dos desafios globais presente nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas. De acordo com o relatório anual do Estado da Segurança Alimentar e Nutrição no Mundo (SOFI), divulgado em 2024 pela FAO (FAO et al., 2024), no ano de 2023 aproximadamente 28,9% da população global vivenciava a insegurança alimentar moderada ou grave, não tendo acesso regular a alimentos adequados, e cerca de 8,9 e 9,4% enfrentavam a subnutrição, que resulta em baixo peso corporal, atraso no crescimento e a deficiência de nutrientes essenciais ao organismo. O relatório destacou que, entre os principais desafios para alcançar a fome zero, as desigualdades econômicas e sociais se apresentam como os mais significativos.

Aliada a ODS de fome zero e agricultura sustentável, a ODS de Consumo e Produção Responsáveis inclui metas que buscam assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis para reduzir o desperdício de alimentos, mitigar a geração de resíduos e fomentar o uso consciente e sustentável dos recursos naturais (NATIONS, 2015). O desperdício de alimentos está associado ao padrão de consumo e segundo estimativa do Boston Consulting Group (BCG, 2018), cerca de 1,6 bilhão de toneladas de alimentos são desperdiçadas a cada ano. As perdas mais significativas ocorrem nas etapas de produção, pós-colheita, transporte e consumo. No Brasil, as perdas de alimentos na cadeia produtiva do pós-colheita foram estimadas em 2018 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) abrangendo um desperdício anual de cerca de 41,6 kg por pessoa, sendo 4% representado pelo desperdício de hortaliças (EMBRAPA, 2020).

Em relação ao consumo da população brasileira, em 2018, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizou a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) e demonstrou que entre as dez hortaliças mais consumidas pelos brasileiros, o tomate (figura 1) era a hortaliça mais consumida, representando um consumo de 4,21 kg por pessoa ao ano. O tomate é uma das culturas amplamente cultivadas no mundo, com alto valor econômico e nutricional. Adaptado a diferentes climas, o tomateiro prospera em temperaturas entre 21 °C e 24 °C, mas abaixo de 10 °C e acima de 38 °C podem ter seus tecidos comprometidos. Os frutos de boa qualidade devem ser firmes, com

coloração uniforme e colhidos no ponto ideal de maturação, garantindo melhor sabor e valor nutricional (DAM et al., 2006).

Figura 1: Representação do tomate.



Fonte: CIESLAK et al., 2016.

Entretanto, a produtividade pode ser severamente afetada por fatores ambientais desfavoráveis e pela incidência de doenças causadas por fungos, bactérias e vírus (DAM et al., 2006). Entre as principais doenças estão a mancha bacteriana, vírus do mosaico do tomateiro (ToMV), a alternariose (*Alternaria solani*) e fusariose (*Fusarium oxysporum*). Essas enfermidades provocam sintomas como murcha, manchas, deformações e retardo no crescimento do tomate, interferindo diretamente na qualidade da hortaliça.

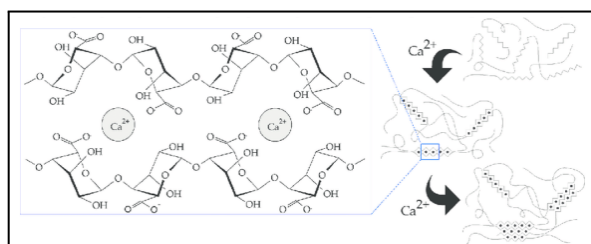
Atualmente, uma ampla gama de materiais tem sido explorada na indústria alimentícia para a conservação de alimentos, sendo sintéticos ou naturais, dependendo de sua origem e propriedade (BRITO, 2023; MOURA et al., 1999; BRACKMANN et al., 2007; DE AZEVEDO, 2007). Dentre os materiais sintéticos, os filmes plásticos à base de polímeros como polietileno (PE), polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC) já são muito utilizados na indústria por agirem como barreiras físicas eficientes contra a umidade e o oxigênio. Porém, esses materiais têm apresentado diversos impactos ambientais, uma vez que são derivados de fontes não renováveis e possuem baixa biodegradabilidade (RAABE et al., 2020).

Nesse contexto, é crescente o interesse por materiais biodegradáveis para aplicações em embalagens sustentáveis. Biopolímeros como os polissacarídeos (alginato de sódio, pectina, quitina e quitosana), proteínas (gelatina, caseína, zeína) e lipídios (ceras e ácidos graxos) destacam-se na produção de filmes comestíveis e biodegradáveis (SOUZA; FERREIRA et al., 2022). Esses materiais também permitem a incorporação de compostos bioativos, como óleos essenciais, extratos vegetais e agentes antimicrobianos ou antioxidantes, que ampliam a sua eficácia, favorecendo a inibição do crescimento microbiano e, reduzem a oxidação dos alimentos (BRITO, 2023).

Uma das alternativas aos conservantes alimentares é a aplicação do alginato de sódio, um polissacarídeo natural que pode ser extraído da parede celular de algas marrons da família *Phaeophyceae*, com propriedade gelificante, biodegradável e biocompatível utilizado nas indústrias alimentícias e farmacêuticas (YEROVI, 2023). Esse composto é capaz de formar filmes finos e transparentes que funcionam como barreiras semipermeáveis à umidade e gases. Pesquisas demonstram que a aplicação de películas de alginato de sódio é eficaz na conservação de frutas minimamente processadas, como observado em maçãs Royal Gala, que apresentaram maior retenção de umidade e firmeza, além da redução na produção de etileno (C_2H_4 gás que promove o amadurecimento de frutas e vegetais) quando revestidas com filmes de alginato (FONTES et al., 2008).

O alginato de sódio é um heteropolissacarídeo linear derivado de um sal dos ácidos α -L-gulurônico e β -D-manurônico. Possui uma alta capacidade hidrofílica devido a grande quantidade de radicais polares em sua estrutura molecular, hidroxilas (OH). Apesar disso, essa propriedade pode ser alterada com a interação de cátions polivalentes, como o cálcio, melhorando sua resistência à umidade. O alginato pode formar géis na presença de íons divalentes (Ca^{2+} , Sr^{2+} e Ba^{2+}) ou íons trivalentes (Fe^{3+} e Al^{3+}). Essa propriedade pode ser explicada pelo modelo “egg box”, modelo da casca de ovo, representado na figura 2, que ilustra como os íons de cálcio se encaixam entre os blocos G das cadeias de alginato de sódio, como ovos em uma caixa, criando as ligações que formam a estrutura do gel (JUNIOR, 2023; TURBIANI, 2007).

Figura 2: Modelo egg-Box - Alginato reticulado com íons de cálcio.



Fonte: DA SILVA JÚNIOR et al., 2023.

O alginato de sódio não apresenta propriedades antimicrobianas, no entanto, os óleos essenciais podem ser incorporados para conferir essa propriedade (ROSA et al, 2018). O óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*), por exemplo, pertencente à família Lamiaceae,

destaca-se por suas propriedades com ação antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória. Sua composição é rica em compostos voláteis, como linalol, terpineol e acetato de isobornila, responsáveis por seu aroma característico. Esses componentes podem variar conforme fatores ambientais, forma de cultivo e extração, influenciando sua eficácia. Devido a essas propriedades, o óleo é amplamente utilizado na medicina, cosmética e aromaterapia (SCHELZ, 2006; RIBEIRO, 2012; BRANDT, 2017; COSTA, 2021; COUTO, 2022).

Deste modo, o objetivo deste trabalho será aplicar o bioplástico à base de alginato de sódio incorporado ao óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) para prolongar a vida útil de tomates (*Solanum lycopersicum*), uma das hortaliças mais consumidas no Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Os reagentes utilizados na realização dos ensaios do presente trabalho, juntamente com suas fórmulas químicas, estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: reagentes e suas respectivas fórmulas químicas

Reagentes	Fórmula Molecular
Alginato de Sódio	$(C_6H_7NaO_6)_n$
Água Destilada	H_2O
Ágar nutriente	-
Ágar Sabouraud Dextrose (SDA)	-
Hipoclorito de sódio	$NaClO$
Nitrato de cálcio	$Ca(NO_3)_2$
Óleo essencial de alecrim	-
2% Digliconato de clorexidina	-
Solução tampão de fosfato com cloreto de magnésio	-

Fonte: próprio autor, 2025.

Para a realização das análises, foram utilizados os seguintes equipamentos: balança analítica modelo AG200, banho-maria, fluxo laminar, agitador

magnético, autoclave, cabine de segurança biológica e estufa incubadora.

Para a realização das análises foram utilizados os seguintes materiais: provetas, pipeta automática, ponteiros esterilizados, bastão de vidro, balão volumétrico, frascos de vidro para o armazenamento de soluções, béqueres, dispensadores, placas de petri estéreis, seringas estéreis, alças calibradas estéreis e tubos de ensaio de vidro com/sem tampa rosca.

2.2 MÉTODOS

2.2.1. Higienização dos tomates

Foram selecionados 18 tomates (*Solanum lycopersicum*) para as triplicatas. A escolha dos tomates considerou critérios de uniformidade de tamanho, ausência de danos físicos ou sinais de deterioração, a fim de garantir a padronização nas amostras.

Os frutos passaram por um processo de higienização, sendo lavados com água corrente e sabão neutro para a remoção de impurezas. Em seguida, foi realizada a desinfecção por meio da imersão em solução aquosa de hipoclorito de sódio (NaClO) a 1%, durante 15 minutos (SIQUEIRA, 2012).

Após a desinfecção, os tomates foram enxaguados em água corrente e deixados para secar naturalmente em temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) por um período de 5 minutos, antes da aplicação do tratamento referente a cada grupo experimental.

2.2.2. Preparo das Soluções

- **Alginato de sódio 1%, Alginato de sódio 1% com óleo essencial de alecrim e Nitrato de Cálcio 10%**

Foram utilizados dois béqueres de 100 mL, em cada um foi pesado 1,0147 g de alginato de sódio, em uma balança analítica.

Em seguida, adicionaram-se pequenas quantidades de água destilada para facilitar a dissolução gradual do alginato de sódio. As soluções foram aquecidas em banho-maria até atingirem 70 °C, por 30 minutos, com o objetivo de garantir a completa dissolução do polímero. Após esse período, as soluções foram resfriadas até cerca de 15 °C em banho de gelo (FONTES, 2008).

No primeiro béquer, a solução de alginato foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume até o menisco com água destilada. Em seguida, a solução foi homogeneizada manualmente.

No segundo béquer, após o resfriamento, foi adicionado 0,1% de óleo essencial de alecrim, e a mistura foi agitada em agitador magnético até a completa emulsificação. Posteriormente, essa solução também foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e o volume foi completado até o menisco com água destilada e foi homogeneizada. As soluções foram reservadas em frascos de vidros (FONTES, 2008).

Foi preparada a solução de nitrato de cálcio a 10%, (MORITA, 2007).

Foram pesados 14,4372 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ em um béquer previamente limpo e seco. O material foi quantitativamente transferido para um balão volumétrico de 100 mL utilizando uma bagueta de vidro. Em seguida, adicionou-se água destilada até a marca de aferição, ajustando-se o menisco com auxílio de uma pipeta Pasteur. Após a completa homogeneização, a solução foi transferida para um frasco de vidro âmbar e mantida reservada para uso posterior.

2.2.3. Recobrimento

Após o preparo das soluções, os tomates foram submetidos ao processo de recobrimento com base de alginato de sódio. Cada fruto foi imerso na solução de alginato de sódio, com ou sem adição de óleo essencial de alecrim, conforme o grupo experimental, por 1 minuto, garantindo o contato completo com a superfície do fruto.

Em seguida, os tomates foram imediatamente transferidos para uma solução de nitrato de cálcio a 10%, na qual permaneceram por mais 1 minuto.

Após a imersão, os tomates foram retirados e deixados secar naturalmente em temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) sobre papel absorvente, até a formação completa do bioplástico (FONTES, 2008).

2.2.4. Grupos Experimentais

O experimento foi conduzido em dois lotes independentes, cada um contendo seis grupos experimentais. Cada um contendo três tomates (triplicata), totalizando 18 unidades amostrais. Sendo assim, o delineamento permitiu analisar de forma comparativa os efeitos da aplicação do bioplástico com e sem o óleo essencial, bem como

a influência do armazenamento refrigerado na conservação dos tomates a partir da perda de massa (%). Os grupos são representados na Tabela 2.

Tabela 2: Grupos experimentais.

Grupos		Bioplástico Puro	Bioplástico com Óleo essencial de alecrim
Controle 1			
Ambiente	Tratamento 1	x	
	Tratamento 2	x	x
Controle 2			
Refrigerado	Tratamento 1	x	
	Tratamento 2	x	x

Fonte: próprio autor, 2025.

A perda de massa foi determinada comparando a massa inicial dos tomates com o registrado ao final de cada período de armazenamento, conforme a equação abaixo:

$$\text{Perda de massa \%} = \frac{(\text{massa inicial} - \text{massa final})}{\text{massa inicial}} \times 100$$

O cálculo permitiu identificar o percentual de redução de massa ao longo do ensaio (PIZATO, *et al.* 2013). Dessa forma, os resultados foram apresentados como porcentagem de perda de massa.

2.2.5. Biodegradabilidade do alginato de sódio

A avaliação da biodegradabilidade do bioplástico de alginato de sódio foi baseada em Silva *et al.* (2021), que caracterizaram filmes de alginato de sódio aplicados na conservação de alimentos.

A solução de alginato de sódio a 1% (m/v) foi colocada em placas de Petri e deixada à temperatura ambiente por 24 horas. Após a secagem completa, o bioplástico foi cuidadosamente retirado da placa e submetido aos testes de biodegradação em solo.

Os ensaios de biodegradabilidade foram conduzidos em triplicata, em temperatura ambiente, com períodos de avaliação de 10, 20 e 30 dias, conforme adaptações baseadas em Dos Santos Constantino *et al.* (2023). As amostras foram enterradas em recipientes plásticos contendo terra de jardim.

2.2.6. Avaliação microbiológica do óleo essencial de alecrim

Para verificar a capacidade antimicrobiana do óleo essencial de alecrim, foi utilizado o método Ágar Cup, também conhecido como método de difusão em poço (SANTANA *et al.*, 2020; BENTES *et al.*, 2023). O procedimento foi baseado no Procedimento Operacional Padrão (POP), adaptado de ROSE *et al.*, 1939, fornecido pela Supervisora do laboratório de Microbiologia da Conforlab Engenharia Ambiental Ltda, assim como os insumos e laboratórios da empresa, com sede localizada no bairro Vila Congonhas, São Paulo – SP. Todas as soluções e meios de cultura utilizados foram previamente preparados sob condições estéreis (PRADO, 2017; BENTES *et al.*, 2023). Os ensaios foram realizados em dois lotes, e as etapas dos procedimentos microbiológicos estão resumidas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3: Fluxograma resumido dos procedimentos microbiológicos.



Fonte: próprio autor, 2025.

Primeiramente, a preparação das cepas microbianas consistiu na inoculação da bactéria *Escherichia coli* ATCC 25922 e do fungo *Candida albicans* ATCC 10231 em solução tampão de fosfato com cloreto de magnésio estéril. A concentração do inóculo foi padronizada em 10^8 UFC/mL com o auxílio da escala de McFarland (tubo 0,5) (CLSI, 2012).

Em seguida, os meios de cultura Sabouraud Dextrose Agar (SDA) e Ágar nutriente foram preparados, respectivamente, para o cultivo da cepa *C. albicans* e de *E. coli* (KAPER, J.B *et al.*, 2014; SANTANA *et al.*, 2020), seguindo as

instruções do fabricante e autoclavados a 121°C por 15 minutos. As etapas seguintes foram realizadas em cabine de segurança biológica (CBS) e incluiu a preparação de controles de esterilidade e viabilidade dos meios de cultura, e controles positivo e negativo.

Para o controle de esterilidade do meio de cultura, 15 mL de cada ágar foi transferido para uma placa de petri esteril. Já para a viabilidade, em 30 mL de ágar foi adicionado 100 µL do inóculo 10^8 UFC/mL, o qual foi homogeneizado e então, foram transferidos para uma placa de petri esteril. O procedimento foi realizado tanto para o ágar Sabouraud Dextrose e a cultura teste *C. albicans*, quanto para o ágar nutriente e a cultura teste *E. coli*.

Para a preparação do controle positivo e do controle negativo, seguiu-se o procedimento descrito anteriormente de inoculação das placas. Porém, após a solidificação do meio, utilizando um tubo de vidro esteril sem rosca, realizou-se um orifício central em cada placa. Em seguida, o poço do controle positivo recebeu 200 µL da solução de 2% de digliconato de clorexidina, já no poço do controle negativo, foi inserido 200 µL água purificada esteril.

Por fim, o teste com o óleo essencial de alecrim foi realizado em triplicata. Seguiu-se o procedimento de inoculação das placas e após a solidificação dos meios de cultura contendo os inóculos, realizou-se um orifício central em cada placa e foi adicionado em cada poço 200 µL do óleo essencial.

Ao final dos procedimentos, as placas com o ágar nutriente foram incubadas a 36 ± 1 °C por 48 h, enquanto aquelas contendo o ágar Sabouraud Dextrose permaneceram a $21,5 \pm 0,5$ °C por sete dias.

2.2.7 Tratamento de resíduos

Após a conclusão dos ensaios experimentais, os tomates utilizados foram devidamente segregados conforme suas condições pós-teste. Os exemplares que apresentaram indícios de contaminação fúngica foram corretamente destinados ao descarte em resíduos orgânicos. Os demais foram encaminhados para o tratamento por meio de compostagem.

Essa iniciativa teve como objetivo assegurar o descarte ambientalmente adequado dos resíduos orgânicos, alinhando o projeto a práticas sustentáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Higienização dos tomates

O processo de seleção e preparo das amostras foi essencial para assegurar a qualidade dos resultados obtidos ao longo do experimento, conforme a figura 4. De acordo com (SIQUEIRA, 2012), a escolha dos tomates (*Solanum lycopersicum*) baseada em critérios de uniformidade de tamanho, coloração e ausência de danos físicos ou sinais de deterioração contribuiu para reduzir a inconstância entre os frutos, buscando tomates pertencentes a classificação 5 (Fruto túrgido, sem fungos e cor normal) (AMANCIO, 2020), garantindo maior padronização entre as triplicatas e entre os diferentes grupos experimentais. Essa etapa foi importante para que as diferenças observadas nos testes de conservação pudessem ser atribuídas, de forma mais precisa, aos tratamentos aplicados e não a variações naturais entre os frutos.

Figura 4: Seleção dos tomates para os experimentos.



Fonte: próprio autor, 2025

3.2. Preparo das soluções

De acordo com o procedimento descrito por Fontes (2008), durante o preparo das soluções observou-se que o aquecimento a 70 °C (figura 5) favoreceu a completa dissolução do alginato de sódio, resultando em uma solução homogênea e de aspecto viscoso. O resfriamento em banho de gelo mostrou-se eficaz para evitar a degradação térmica do polímero.

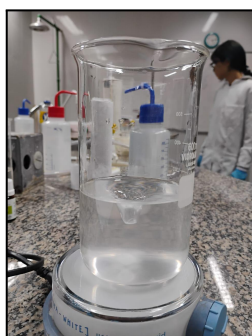
Figura 5: Alginato 1% em banho-maria.



Fonte: próprio autor, 2025

Na formulação contendo 0,1% de óleo de alecrim, verificou-se a formação de uma emulsão estável após a agitação magnética (figura 6), com coloração levemente opaca e ausência de separação de fases.

Figura 6: Agitação magnética óleo essencial de alecrim 0,1%.



Fonte: próprio autor, 2025

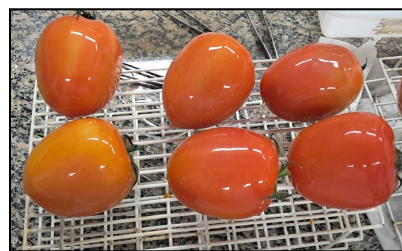
Esses resultados indicam que o método de preparo empregado foi eficiente para a obtenção de soluções homogêneas e adequadas para posteriores etapas de reticulação com nitrato de cálcio.

3.3. Recobrimento

Durante a etapa de recobrimento, foi possível observar diferenças significativas entre os tratamentos realizados com solução de alginato de sódio e aqueles com alginato de sódio associado ao óleo essencial de alecrim.

No recobrimento contendo apenas alginato de sódio 1%, o processo ocorreu de forma homogênea e sem intercorrências, apresentando boa formação da película ao redor do tomate, conforme a figura 7.

Figura 7: Recobrimento homogêneo com alginato de sódio 1%.



Fonte: próprio autor, 2025

Verificou-se que, para uma formação eficiente da película, é essencial que o processo de imersão na solução de alginato de sódio seja seguido imediatamente pela imersão na solução de nitrato de cálcio, sem atrasos significativos. A ausência de um intervalo adequado ou falhas na transferência direta entre as soluções podem comprometer a gelificação do alginato, resultando em um recobrimento incompleto ou na formação de uma película disforme. A reticulação do alginato de sódio é apresentada na figura 8.

Figura 8: Reticulação do alginato de sódio



Fonte: próprio autor, 2025.

Entretanto, quando o óleo essencial de alecrim foi adicionado à formulação, observou-se maior dificuldade na obtenção de uma cobertura uniforme (figura 9). Essa diferença pode estar relacionada à instabilidade da emulsão formada pela mistura de alginato de sódio e óleo essencial, o que ocasionou a formação de duas fases distintas em alguns lotes preparados.

Figura 9: Recobrimento irregular após 0,1% de óleo essencial de alecrim.



Fonte: próprio autor, 2025.

Em determinadas amostras contendo o óleo de alecrim, o recobrimento apresentou-se heterogêneo, com regiões do tomate não completamente envolvidas pela película e a presença de pequenos buracos na superfície. Esse resultado pode ter sido influenciado por fatores operacionais, como o tempo de agitação da emulsão e o tempo de imersão dos tomates nas soluções de alginato e nitrato de cálcio.

Assim, conclui-se que o sucesso do recobrimento depende diretamente da estabilidade da emulsão e do controle preciso do tempo de imersão. O uso do óleo essencial de alecrim, embora promissor por suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, exige um controle mais rigoroso das condições experimentais para evitar a separação de fases e assegurar a formação de um filme contínuo e uniforme sobre o tomate.

3.4. Grupos experimentais

Os resultados obtidos permitiram avaliar a eficiência do revestimento bioplástico à base de alginato de sódio, com e sem adição de óleo essencial de alecrim, na conservação de tomates armazenados sob condições de temperatura ambiente e em geladeira.

Imagens referentes aos grupos experimentais ao longo do tempo podem ser observadas na seção Apêndice A (tabela 5).

Observações dos Lotes 1 e 2

No Lote 1, durante os primeiros dias de armazenamento, observou-se que os tomates revestidos (tratamento 1 e tratamento 2) apresentaram aparência mais firme e superfície brilhante (figura 10), em contraste com os frutos controle, que mostraram início de enrugamento e manchas superficiais.

Figura 10: Tomates do Lote 1 - representativos do Tratamento 1 e Tratamento 2.



Fonte: próprio autor, 2025

Ao longo do período de armazenamento, os tomates apresentaram alterações sensoriais perceptíveis. Observou-se uma leve perda de firmeza, tornando-os gradualmente mais moles e com a superfície levemente enrugada, especialmente nos grupos mantidos em temperatura ambiente. O odor também se tornou mais intenso com o passar dos dias, possivelmente em decorrência do início do processo de decomposição. Além disso, em alguns exemplares, foi notado um leve escurecimento da casca, indicando o avanço natural da deterioração do fruto. Essas mudanças estão associadas à degradação gradual dos tecidos e à atividade microbiana que ocorre durante o armazenamento. A presença visível de fungos foi observada inicialmente nos grupos controle armazenados em temperatura ambiente. Nos grupos com revestimento, especialmente os com óleo essencial, o crescimento microbiano foi retardado, confirmando a ação antimicrobiana.

De forma semelhante ao observado no Lote 1, no Lote 2 a presença visível de fungos foi inicialmente constatada nos grupos controle mantidos em temperatura ambiente, isso ocorreu mais tardiamente nos outros grupos experimentais de mesmo lote submetidos aos tratamentos, possivelmente pela presença do bioplástico.

Entretanto, verificou-se uma intercorrência no tomate nº 3 do grupo revestido com o bioplástico sem óleo essencial de alecrim e armazenado sob refrigeração, que com o passar dos dias, esse tomate apresentou formação de esporos sob o bioplástico (figura 11), indicando uma possível contaminação prévia antes da aplicação do revestimento, ou ainda uma reprodução microbiológica localizada em uma região de espessura não uniforme da película, problema identificado em alguns frutos durante a etapa de recobrimento.

Figura 11: Tomate do grupo controle refrigerado com evidência fúngica sob o bioplástico.



Fonte: próprio autor, 2025

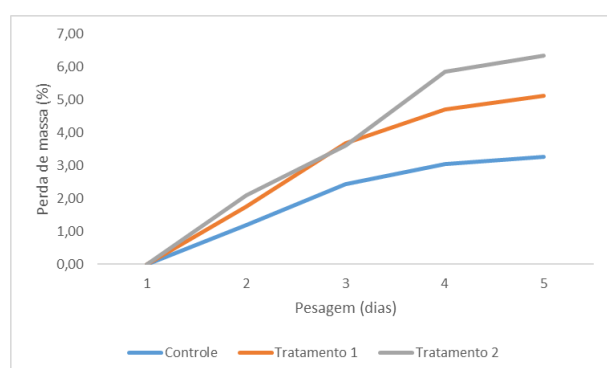
Contudo, assim como no primeiro lote, os resultados mostraram-se consistentes com estudos anteriores que evidenciam a eficácia de filmes à base de alginato na conservação de tomates conforme relatado por AMANCIO, 2020.

Conforme mencionado anteriormente, ao longo do armazenamento foram observadas alterações sensoriais nos tomates, especialmente relacionadas à textura. Uma possível causa para essas mudanças é a perda de umidade, refletida diretamente na redução de massa dos frutos. Diante disso, optou-se por realizar pesagens periódicas para monitorar a variação de massa ao longo do tempo. As pesagens foram realizadas nos dias: 1, 4, 6, 11 e 12.

A seguir, apresenta-se os gráficos que ilustram a perda de massa (%) dos tomates ao longo dos dias de armazenamento.

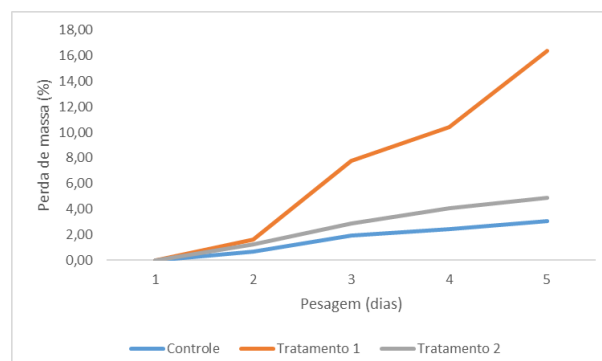
Esses resultados foram obtidos através da fórmula indicada anteriormente em Materiais e Métodos (2.2.4).

Gráfico de Perda de Massa - Lote 1 Ambiente



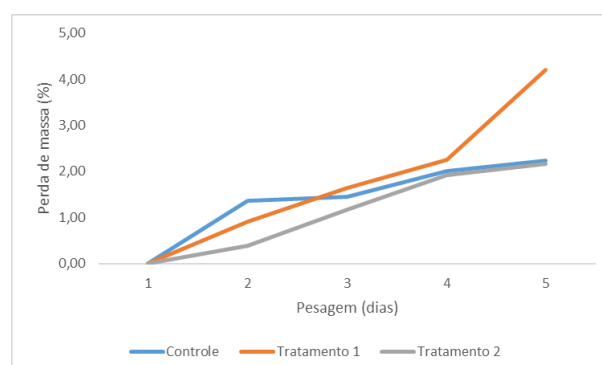
Fonte: Próprio autor, 2025.

Gráfico de Perda de Massa - Lote 2 Ambiente



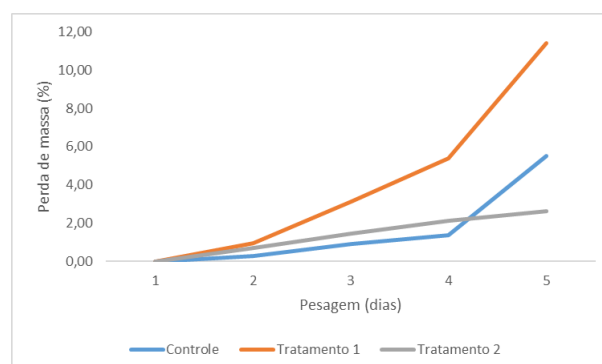
Fonte: Próprio autor, 2025.

Gráfico de Perda de Massa - Lote 1 Refrigerado



Fonte: Próprio autor, 2025.

Gráfico de Perda de Massa - Lote 2 Refrigerado



Fonte: Próprio autor, 2025.

Nos gráficos é apresentada a perda de massa (%) dos tomates mantidos à temperatura ambiente e

sob refrigeração, determinada a partir das pesagens realizadas nos dias 1, 4, 6, 11 e 12. Os grupos experimentais avaliados corresponderam ao controle, ao tratamento 1 (bioplástico — recobrimento com alginato de sódio a 1% e nitrato de cálcio a 10%) e ao tratamento 2 (bioplástico incorporado ao óleo essencial de alecrim). De acordo com os resultados obtidos, observa-se que, de modo geral, tanto no lote 1 quanto no lote 2, os grupos controle apresentaram menor perda de massa em comparação aos grupos tratados. Ademais, na comparação entre os tratamentos, verificou-se que o tratamento 1 apresentou, de forma consistente, maior perda de massa quando comparado ao tratamento 2.

Perda de massa média

Para melhor visualização, também elaboramos tabelas referentes à perda média de massa dos tomates ao longo do tempo. Esses materiais complementares, que aprofundam a interpretação dos resultados e reforçam as tendências observadas, estão disponíveis na seção Apêndices A (Tabelas 1, 2, 3 e 4) para consulta detalhada.

Conforme visualizado na Tabela 1 do apêndice A, os dados mostram que, ao longo de 12 dias de armazenamento em temperatura ambiente (Lote 1), houve diferença perceptível na perda de massa entre os grupos avaliados. O grupo controle apresentou a menor perda (3,28%), indicando que, nas condições analisadas, os frutos sem revestimento mantiveram sua massa de forma mais estável. Já o Tratamento 1 (T1), composto apenas pelo bioplástico de alginato de sódio, apresentou perda de 5,13%, sugerindo que o revestimento, isoladamente, não contribuiu para reduzir a desidratação dos frutos. O Tratamento 2 (T2), que utilizou bioplástico de alginato associado ao óleo essencial de alecrim, mostrou a maior perda de massa (6,35%), apontando que a adição do óleo não favoreceu a retenção de água ao longo do período. De modo geral, os resultados indicam que, dentro das condições deste lote, nenhum dos revestimentos testados promoveu redução da perda de massa dos tomates, sendo o controle o grupo que apresentou melhor desempenho nesse parâmetro.

De acordo com a tabela 2 (Apêndice A), no lote 2, também armazenado em temperatura ambiente, observa-se um comportamento distinto entre os tratamentos. O grupo controle apresentou perda de massa de 3,06%, permanecendo novamente

entre os valores mais baixos. O Tratamento 1, composto apenas pelo bioplástico de alginato de sódio, teve perda significativamente maior (16,34%), indicando que, nesse lote, o revestimento isolado não foi eficaz na redução da desidratação e, inclusive, mostrou desempenho inferior ao controle. Já o Tratamento 2, com adição de óleo essencial de alecrim, apresentou perda de 4,87%, valor próximo ao controle e consideravelmente menor que o Tratamento 1. Assim, no lote 2, apenas o revestimento com óleo essencial demonstrou um comportamento mais estável, enquanto o bioplástico de alginato de sódio resultou na maior perda de massa entre os grupos. Esses resultados reforçam que a eficiência dos revestimentos pode variar entre lotes, possivelmente influenciada por diferenças intrínsecas dos frutos ou variações nas condições de armazenamento.

No lote 1 (tabela 3, Apêndice A) mantido sob refrigeração, a perda de massa dos tomates foi reduzida em todos os grupos, como esperado para condições de baixa temperatura. O grupo controle apresentou perda de 2,23%, enquanto o Tratamento 1 (bioplástico de alginato de sódio) mostrou uma perda superior, de 4,19%, sugerindo novamente que o bioplástico isolado não contribuiu para a retenção de umidade. Já o Tratamento 2, que combina alginato com óleo essencial de alecrim, apresentou a menor perda de massa do lote (2,17%), desempenho ligeiramente melhor que o próprio controle. Esses resultados indicam que, sob refrigeração, o revestimento com óleo essencial pode auxiliar na manutenção da massa dos frutos, enquanto o filme de alginato sozinho não se mostrou eficaz nesse parâmetro.

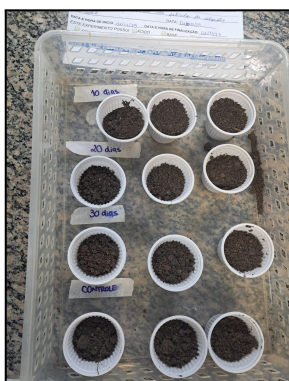
Já na tabela 4 (Apêndice A) podemos visualizar o lote 2 mantido sob refrigeração, observa-se novamente uma diferença clara entre os tratamentos. O grupo controle apresentou perda de massa de 5,51%, valor relativamente moderado dentro do período avaliado. O Tratamento 1, composto apenas pelo bioplástico de alginato de sódio, apresentou a maior perda entre os grupos (11,41%), reforçando o padrão visto nos outros lotes de que o alginato isolado não atua de forma eficiente na retenção de umidade. Por outro lado, o Tratamento 2 - alginato com óleo essencial de alecrim: apresentou a menor perda de massa (2,61%), indicando um desempenho superior tanto ao controle quanto ao Tratamento 1. Esses resultados sugerem que, sob refrigeração, a combinação do revestimento com

óleo essencial se mostra mais eficaz na contenção da desidratação dos frutos. Tal comportamento pode ser atribuído ao aumento do caráter hidrofóbico do bioplástico decorrente da incorporação do óleo essencial, o que favorece maior retenção de água e, conseqüentemente, menor perda de massa dos frutos. Enquanto o alginato puro permanece pouco eficiente nesse aspecto.

3.5. Biodegradabilidade do alginato de sódio

A biodegradabilidade do alginato de sódio foi avaliada qualitativamente a partir da visualização da integridade física do bioplástico após os períodos de 10, 20 e 30 dias, conforme apresentado na figura 12.

Figura 12: Biodegradabilidade representativa do alginato de sódio.



Fonte: próprio autor, 2025

No grupo 1, no qual o alginato se manteve sob exposição do solo por 10 dias, apresentou claros sinais de deterioração e perda da integridade estrutural original. No entanto, ainda foi possível recuperar fragmentos remanescentes nas três réplicas, estas que apresentaram resultados semelhantes, conforme a figura 13.

Figura 13: Biodegradabilidade representativa do Grupo 1 – após 10 dias.



Fonte: próprio autor, 2025

Em contrapartida, no grupo do dia 20 (figura 14) foi possível observar uma redução significativa na quantidade de fragmentos. Conforme apresentado na figura a seguir, nota-se uma diminuição expressiva desses materiais, evidenciando um processo de degradação ao longo do período analisado.

Figura 14: Biodegradabilidade representativa, após 20 dias.



Fonte: próprio autor, 2025

Em contraste, após os 30 dias de exposição, não foi possível recuperar qualquer vestígio nas três réplicas do grupo 2, assim como a figura 15 exibe. A inspeção visual confirmou a completa desintegração do material, indicando uma degradação avançada e eficiente no período.

Figura 15: Biodegradabilidade representativa, após 30 dias.



Fonte: próprio autor, 2025

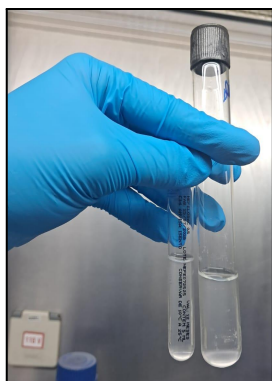
3.6. Avaliação microbiológica do óleo essencial de alecrim

Inicialmente, a escolha das cepas e a padronização dos inóculos foram critérios cruciais para o êxito no ensaio microbiológico. A cepa

Candida albicans foi selecionada por ser uma das principais espécies associadas a infecções fúngicas em humanos (CASTRO, *et al.*, 2011), enquanto a *Escherichia coli* foi escolhida por representar um dos patógenos mais frequentes em infecções tanto comunitárias quanto nosocomiais. (RODRIGUES *et al.*, 2011).

A padronização da concentração dos microrganismos em suspensão, realizada através da escala de McFarland, permitiu garantir que todas as análises tivessem a mesma quantidade inicial de microrganismos, a partir da densidade celular pela turbidez. O padrão utilizado foi o 0,5 McFarland, o qual corresponde a aproximadamente 10^8 UFC/mL, conforme apresentado na figura 16, inóculo ideal para testes de sensibilidade. Esse padrão assegura que a suspensão microbiana tenha uma concentração padronizada de microrganismos, evitando inóculos excessivos ou insuficientes que poderiam gerar resultados falsamente resistentes ou sensíveis. Dessa forma, a escala de McFarland garante maior reprodutibilidade e repetibilidade aos ensaios microbiológicos (CLSI, 2012).

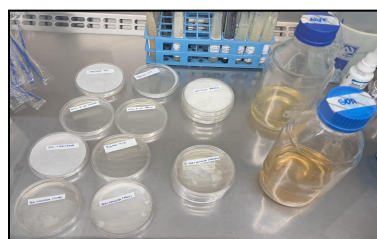
Figura 16: Escala de McFarland e tubo com inóculo - Turbidez 0,5.



Fonte: próprio autor, 2025

A avaliação microbiológica do óleo essencial de alecrim consistiu em duas repetições dos ensaios e incluiu a preparação de controles de esterilidade e viabilidade dos meios de cultura, e controles positivo e negativo a fim de validar os resultados experimentais, como representado na figura 17. Após o período de incubação das placas, foi avaliado a presença ou ausência de crescimento microbiano ao redor do orifício com a substância teste (halo de inibição), com o intuito de observar se existia ou não atividade antimicrobiana.

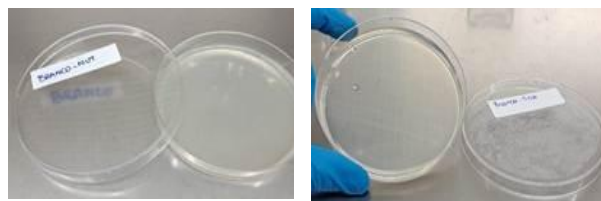
Figura 17: Controles microbiológicos e teste em triplicata com o óleo essencial de alecrim na CSB.



Fonte: próprio autor, 2025.

Para os controles de esterilidade, tanto para o ágar nutriente, quanto para o ágar sabouraud dextrose, não houve crescimento de microrganismo, comprovando a esterilidade do procedimento realizado desde a autoclavagem até o vertimento do meio de cultura em CSB. Os controles são apresentados na figura 18.

Figura 18: Controle de esterilidade representativo - Ágar nutriente e ágar sabouraud dextrose.



Fonte: próprio autor, 2025.

Nos controles de viabilidade, após inocular a *E. coli* no ágar nutriente e a *C. albicans* no ágar sabouraud dextrose, e ao final do término do período de incubação, verificou-se o crescimento dos microrganismos, apresentados na figura 19. Esses controles garantem que o meio de cultura preparado está adequado para o crescimento microbiano (OSTROSKY, *et al.* 2008), o resultado encontrado comprovou que os meios de culturas preparados estavam funcionais, nutritivos e adequados para os microrganismos em estudo.

Figura 19: Controle de viabilidade representativo - Ágar nutriente e ágar sabouraud dextrose.

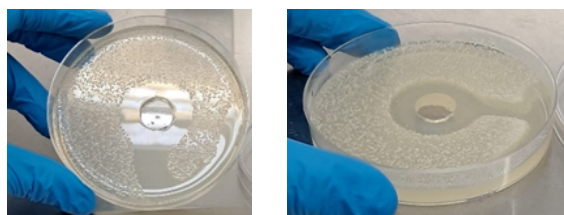


Fonte: próprio autor, 2025.

Nos controles positivos foi adicionado no orifício central o Riohex 2%® de digliconato de clorexidina. A clorexidina é um antisséptico com amplo alcance antimicrobiano, eficaz contra

bactérias, fungos, leveduras e vírus (FIORENTINO, 2009; SEGUNDO *et al.*, 2007), utilizada principalmente na periodontia, no controle da placa bacteriana (CAMARGO, *et al.*, 2008). Ao final da incubação, observou-se a formação de um halo de inibição bem marcante, indicativo da sensibilidade dos microrganismos ao agente antimicrobiano, conforme apresentado na figura 20.

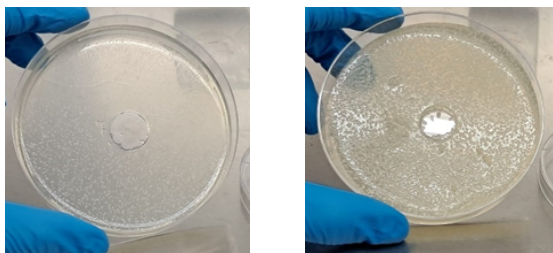
Figura 20: Controle positivo representativo - Ágar nutriente e ágar sabouraud dextrose.



Fonte: próprio autor, 2025.

Nos controles negativos foi adicionado no orifício central a água purificada estéril. Ao final da incubação, não ocorreu a formação de um halo de inibição, havendo a presença de crescimento microbiano ao redor do orifício contendo apenas água, como apresentado na figura 21.

Figura 21: Controle negativo representativo - Ágar nutriente e ágar sabouraud dextrose.



Fonte: próprio autor, 2025

Para o teste com o óleo essencial de alecrim, o óleo foi adquirido comercialmente na loja Phytoterápica®, localizada no bairro Bela Vista, em São Paulo (SP). Segundo informações disponibilizadas pelo site da empresa, os produtos apresentam alta pureza e são obtidos por destilação por arraste de vapor.

O alecrim (*Rosmarinus officinalis*) possui propriedades antimicrobianas reconhecidas, atribuídas principalmente aos compostos pinenos, 1,8-cineol, borneol, canfeno e cânfora (DE CASTRO GUIMARÃES *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2012, TEIXEIRA, 2012), sendo que 1,8-cineol,

cânfora e pineno estavam presentes na amostra adquirida. A composição do óleo essencial utilizado é apresentada na figura 22.

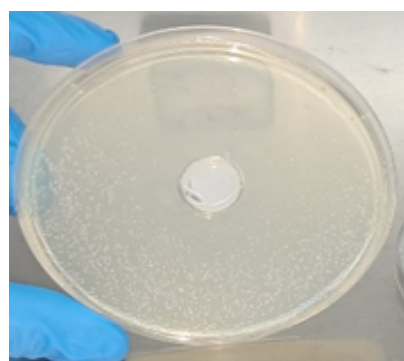
Figura 22: Composição do óleo essencial.

Óleo Essencial Alecrim	
<i>Rosmarinus officinalis</i> (L.) cineol	
Espécie	<i>Rosmarinus officinalis</i>
Família	Lamiaceae
Distribuição	Europa
Nome comum	Alecrim-de-jardim, rosa-marinha
Método de extração	Destilação por arraste de vapor
Principais componentes químicos	1,8-cineol, cânfora e α -pineno
Nota Olfativa	Média
Classificação energética	Herbácea

Fonte: próprio autor, 2025

Nos meios de cultura com o ágar nutriente e o inóculo de *E. coli*, observou-se o crescimento do microrganismo ao redor do orifício, mas de forma espaçada, diferentemente do controle negativo, o qual os microrganismos cresceram em maior quantidade e mais próximos. Além disso, não houve a formação de um halo de inibição marcante como aquele observado no controle positivo com a clorexidina. É possível inferir que o óleo essencial de alecrim apresentou ação bacteriostática em relação a *E. coli* (TORTORA, 2017), capaz de inibir o crescimento e a multiplicação das bactérias. Os resultados estão apresentados na figura 23.

Figura 23: Teste representativo com o óleo essencial de alecrim - ágar nutriente e *E. coli*.



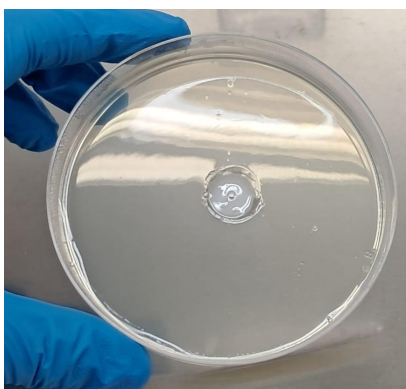
Fonte: próprio autor, 2025

Esse potencial inibitório também foi observado nos experimentos de DE CASTRO GUIMARÃES *et al.*, 2017 e SILVA *et al.*, 2008, que indicam que o óleo essencial exerce ação sobre a estrutura lipídica da membrana celular de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, apresentando potencial inibitório do crescimento bacteriano. Já para SILVA *et al.*,

2015 e SEYDIM *et al.*, 2006, o óleo essencial de alecrim não apresentou atividade antimicrobiana frente *S. aureus*, *E. coli* e *L. monocytogenes*

Nos meios de cultura contendo ágar sabouraud dextrose e o inóculo de *C. albicans*, não foi observado crescimento do microrganismo, e, conseqüentemente, não ocorreu a formação de halo de inibição. Esses resultados indicam que o óleo essencial de alecrim apresentou ação fungicida sobre *C. albicans*, demonstrando capacidade de destruir as estruturas celulares e interromper seus processos metabólicos (TORTORA, 2017). A representação dos resultados pode ser observada na Figura 24.

Figura 24: Teste representativo com o óleo essencial de alecrim - ágar sabouraud dextrose e *C. albicans*.



Fonte: próprio autor, 2025

A atividade antifúngica do óleo essencial de alecrim também foi relatada por CAVALCANTI *et al.* 2011, CASTRO *et al.* 2010, NASCIMENTO *et al.* 2007 e HAMMER *et al.* 2004. Devido à sua natureza apolar, os óleos essenciais interagem com os componentes lipídicos das células fúngicas, ocasionando alterações na integridade e na permeabilidade das membranas. Essas mudanças podem resultar no desequilíbrio iônico e na destruição celular, o que indica um possível efeito antifúngico associado à disfunção da membrana.

Portanto, após os experimentos e diante dos resultados, foi possível inferir que nenhuma das amostras avaliadas apresentou sensibilidade ou resistência completa frente ao óleo essencial de alecrim, mas foi possível observar a presença de uma ação bacteriostática e ação fungicida marcante nos experimentos realizados.

3.7. Tratamento de resíduos

Após a devida separação dos tomates, aqueles sem indícios de contaminação fúngica foram destinados à composteira da empresa Fazendinha Estação Natureza, situada no bairro do Ipiranga, em São Paulo (SP), como representada na figura 25. Essa medida visou garantir o manejo ambientalmente responsável dos resíduos gerados, em consonância com práticas de sustentabilidade. Por meio do processo de compostagem, os frutos foram convertidos em adubo orgânico, promovendo o reaproveitamento eficiente da biomassa e contribuindo para novos ciclos produtivos.

Figura 25: Compostagem dos tomates.



Fonte: próprio autor, 2025.

4. Considerações finais

O presente estudo demonstrou que a aplicação do revestimento bioplástico à base de alginato de sódio, especialmente quando associado ao óleo essencial de alecrim, contribuiu de forma significativa para a conservação pós-colheita dos tomates.

A combinação do bioplástico com o óleo essencial potencializou o efeito antimicrobiano, indicando que o óleo atuou não apenas como agente hidrofóbico, reduzindo a transpiração, mas também como composto antimicrobiano, retardando o aparecimento de deteriorações. Além disso, o armazenamento sob refrigeração mostrou-se um fator determinante para prolongar a vida útil dos frutos.

De forma geral, os resultados obtidos confirmam que o uso de revestimentos biodegradáveis enriquecidos com compostos naturais, representa uma alternativa promissora, sustentável e eficiente para a conservação de produtos de hortaliças contribuindo para a redução de perdas pós-colheita.

Agradecimentos

Agradecemos às professoras Doutora Aline Alves Ramos e Especialista Thais Taciano dos Santos, pelo suporte técnico, acadêmico e pela orientação do grupo; à bibliotecária Adriana Machado, pelo auxílio nas pesquisas; aos funcionários da Etec Irmã Agostina, pelo suporte prestado; e à Conforlab Engenharia Ambiental LTDA, especialmente à funcionária Stefany Cocito, pelo apoio técnico fundamental para a realização deste projeto. Também agradecemos a Fazendinha SP Eco-recreações LTDA pelo suporte durante a prática de compostagem.

REFERÊNCIAS

- AMANCIO, Daiana Ferreira. **Efeito da aplicação de revestimentos comestíveis para conservação de tomate italiano (*Solanum lycopersicum* L.) 'Ravena' in natura**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.
- BENTES, V. S.; *et al.* **Atividade antimicrobiana produzida por fungos filamentosos isolados das águas do Baixo Rio Tapajós, Pará, Brasil**. Scientia Plena, v. 19, n. 7, p. 1–9, 2023. DOI: 10.14808/sci.plena.2023.076201.
- BRACKMANN, Auri *et al.* **Armazenamento de tomate cultivar "Cronus" em função do estágio de maturação e da temperatura**. Ciência Rural, v. 37, p. 1295-1300, 2007.
- Brandt, C. C. M. (2017). **Avaliação da atividade antifúngica e antibacteriana do óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) na aplicação em extrato de tomate (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).**
- BRITO, A. R. (2023). **Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios de origem vegetal: revisão de literatura**.
- CAMARGO, S. E. A. *et al.* **Avaliação do pH das soluções de hipoclorito de sódio 1% e 2, 5% e digluconato de clorexidina 2% em função do tempo**. Rev Odontol, v. 16, n. 31, p. 85-91, 2008.
- CASTRO, R.D. *et al.* **Atividade antifúngica in vitro do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* L. sobre *Candida* spp.** Rev Odontol UNESP. 2010.
- CAVALCANTI, Y. W.; *et al.* **Atividade antifúngica de três óleos essenciais sobre cepas de *Candida***. Revista Odontológica do Brasil Central, v. 20, n. 52, 2011.
- CIESLAK, Mikolaj *et al.* **Integrating physiology and architecture in models of fruit expansion**. Frontiers in plant science, v. 7, p. 1739, 2016.
- CLSI - Clinical and Laboratory Standards Institute. **Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: Approved Standard—Ninth Edition**. CLSI document M07-A9. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2012.
- CLSI -Clinical and Laboratory Standards Institute. **Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests: Approved Standard**. 12. ed. Clinical and Laboratory Standards Institute; 2015.
- Costa, BMB, Silva, RS, de Melo Júnior, PMR, Travassos, RMC, Maia, SMAS, Silva, LB, ... & da Silva, IM (2021). **Atividade antimicrobiana do óleo essencial do alecrim associada ao hidróxido de cálcio**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, 10 (16), e522101623865-e522101623865.
- Couto, NC, Cordeiro, CDJO, da Silva Freitas, JN, Freitas, TC, & de Araújo Moysés, D. (2022). **Análise de qualidade e microbiológica do *Rosmarinus officinalis* (alecrim)**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, 11 (8), e58911831375-e58911831375.
- DE AZEVEDO, V. V. C., & de Melo Costa, A. C. F. (2007). **5. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais**. Revista eletrônica de Materiais e processos, 2(3).
- DE CASTRO GUIMARÃES, Caroline *et al.* **Atividade antimicrobiana in vitro do extrato aquoso e do óleo essencial do alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) e do cravo-da-índia (*Caryophyllus aromaticus* L.) frente a cepas de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli***. Revista Brasileira de Biociências, v. 15, n. 2, 2017.
- da Silva Júnior, Â., Barboza, JKM, & Daguano, JVLDS **Estudo do alginato e sua estrutura após a sua purificação**, 2023.
- DAM, B. van *et al.* **A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização**, 2006.

DOS SANTOS CONSTANTINO, Patrícia *et al.* **AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES À BASE DE AMIDOS DE FONTES DE MATÉRIAS-PRIMAS NÃO TRADICIONAIS.** Meio Ambiente (Brasil), v. 5, n. 4, 2023.

EMBRAPA. **Reflexões sobre perdas pós-colheita na cadeia produtiva de hortaliças.** 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1124205/1/Cadeiaprodutiva-de-hortalicas-ed-01-2020-sem-marcas.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

FAO (Food And Agriculture Organization Of The United Nations); IFAD (International Fund For Agricultural Development); UNICEF (United Nations Children's Fund); WFP (World Food Programme); WHO (World Health Organization). **The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms.** Roma, 2024. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/39dbc6d1-58eb-4aacbd8a-47a8a2c07c67/content/cd1254en.html#gsc.tab=0>. Acesso em: 12 abr. 2025.

FIORENTINO, F. A. M. **Desenvolvimento e controle de qualidade de formulação cosmética contendo digluconato de clorexidina.** 2009.

FONTES, L. C. B.; SARMENTO, S. B. S.; SPOTO, M. H. F.; DIAS, C. T. S. **Conservação de maçã minimamente processada com o uso de películas comestíveis.** Food Science and Technology, v. 28, n. 4, p. 872–878, 2008.

GROUP, The Boston Consulting. **Tackling the 1.6-billion-ton food loss and waste crisis.** 2018. Disponível em: <https://www.bcg.com/publications/2018/tackling-1.6-billion-ton-food-loss-and-waste-crisis>. Acesso em: 24 ago. 2025.

HAMMER, K.A. *et al.* **Antifungal effects of Melaleuca alternifolia (tea tree) oil and its components on Candida albicans, Candida glabrata and Saccharomyces cerevisiae.** Antimicrob Chemother. 2004.

JÚNIOR, A.R.S.; Daguan, J.K.M.B; Silva, J.V.L: **Estudo do alginato e sua estrutura após a sua purificação.** XXIV JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO RENATO ARCHER -, 24., 2023, Campinas/Sp. Campinas: Pibic/Cnpq/Cti, 2023. Disponível em:

<https://www.gov.br/cti/pt-br/publicacoes/producao-cientifica/jicc/xxv-jicc-2023/pdf/jicc-2023-paper-6.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

KAPER, J.B.; *et al.* **Pathogenic Escherichia coli.** 2014. Disponível em: <https://www.bphc.org/whatwedo/infectious-diseases/Infectious-Diseases-A-to-Z/Pages/E.-coli.aspx>. Acesso em: 1 out. 2020.

MORITA, T.; ASSUMPTÃO, R. M. V. **Manual de Soluções Reagentes e Solventes.** 2ª ed. Editora Edgard Blucher, 2007.

MOURA, M.L. *et al.* **Efeito da atmosfera controlada na conservação de tomates colhidos em estágio intermediário de maturidade.** Scientia Agrícola, Piracicaba, v.56, n.1, p.135-142, 1999.

NASCIMENTO, P.F.C. *et al.* **Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais: uma abordagem multifatorial dos métodos.** Rev. Bras. Farmacogn. 2007.

NATIONS, United. **Department of Economic and Social Affairs: sustainable development.** 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 04 maio 2025.

OSTROSKY, E. A. *et al.* **Métodos para avaliação da atividade antimicrobiana e determinação da concentração mínima inibitória (CMI) de plantas medicinais.** Revista brasileira de Farmacognosia, v. 18, p. 301-307, 2008.

PIZATO, S. *et al.* **Efeito da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis na conservação de maçãs 'Royal Gala' minimamente processadas.** Semina: Ciências Agrárias.v. 34, n. 1, p. 253-264, 2013.

Prado, F. B. (2017). **Comparação de métodos de preservação de linhagens de Aspergillus da Coleção DPUA na produção de metabólitos secundários com potencial antimicrobiano.** Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5815>. Acesso em: 8 out. 2025

RAABE, G.; REIS, R. C.; BASTOS, M. S. R. **Biopolímeros e bioplásticos: alternativas para um futuro sustentável.** Química Nova, v. 43, n. 8, p. 1120–1131, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/QXT9wMDfVQ9PrhbVs-p8b3Pc/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

RIBEIRO, D. S *et al.* **Avaliação do óleo essencial de alecrim (Rosmarinus officinalis L.) como**

modulador da resistência bacteriana. Semina: Ciências Agrárias, 33(2): 687-696. 2012.

RODRIGUES, F. J. *et al.* **Etiologia e sensibilidade bacteriana em infecções do tracto urinário.** Revista Portuguesa de Saúde Pública, 2011.

Rosa, J. M., Bonato, L. B., Mancuso, C. B., Martinelli, L., Okura, M. H., Malpass, G. R. P., & Granato, A. C. (2018). **Antimicrobial wound dressing films containing essential oils and oleoresins of pepper encapsulated in sodium alginate films.** *Ciência Rural*, 48(03), e20170740.

ROSE, S. B. *et al.* **Studies with the agar cup-plate method: I. A standardized agar cup-plate technique.** Journal of bacteriology, v. 38, n. 5, p. 525-537, 1939.

SANTANA, D. P.; *et al.* **Novas abordagens sobre os fatores de virulência de Candida albicans / New approaches on virulence factors of Candida albicans.** Repositório UFBA, v. 12, n. 2, p. [páginas], 2020. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/23079/1/15_v.12_2.pdf. Acesso em: 8 out. 2025.

Schelz, Z., Molnar, J., & Hohmann, J. (2006). **Atividades antimicrobianas e antiplasmídicas de óleos essenciais.** *Fitoterapia*, 77 (4), 279-285.

SEGUNDO, A. S. *et al.* **Efetividade do gluconato de clorexidina a 0, 12% e do digluconato de clorexidina a 2% adquiridos em diferentes dentais e farmácias, na cidade de Cuiabá, sobre Candida albicans.** Periodontia, p. 18-22, 2007.

Seydim, A.C. *et al.* **Antimicrobial activity of whey protein based edible msincorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils.** Food Research International, v. 39, p. 639–644, 2006

SILVA, A. A. *et al.* **Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais de Thymus vulgaris(tomilho), Syzygium aromaticum(cravo-da-índia) e Rosmarinus officinalis(alecrim) e dos conservantes benzoato de sódio e sorbatode potássio em Escherichia coli e Staphylococcus aureus.** Curitiba, v. 33, n. 1, p. 111-117, jan./jun. 2015

SILVA, M. A., *et al.* **Atividade antimicrobiana e antiaderente in vitro do extrato de Rosmarinus officinalis Linn. sobre bactérias orais**

planctônicas. Brazilian Journal of Pharmacognosy, 18(2): 236–240, 2008.

SILVA, Cristieli Nunes da; FUKUOKA, Talita Moura; MANHANI, Maria Raquel. **Produção e caracterização de biofilmes de fécula de mandioca com extratos aquoso e alcoólico de própolis.** Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade, v. 8, n. 19, p. 1257-1272, 2021.

Siqueira, T. H., & Signini, R. (2012). **Elaboração e Caracterização de Biofilmes de Quitosana para Aplicação em Maças Cortadas.** *Revista Processos Químicos*, 6(12), 35-43.

SOUZA, A. C. *et al.* **Biopolímeros aplicados em filmes comestíveis: propriedades e aplicações.** Revista de Ciência e Engenharia de Alimentos, v. 42, n. 3, p. 101–109, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/221211395.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

TEIXEIRA, L. **Avaliação do uso do Extrato de Alecrim de Jardim (Rosmarinus officinalis Linn) no controle do Biofilme Dental.** Trabalho de Conclusão de Curso. (Odontologia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TORTORA, G. J *et al.* *Microbiologia*. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Turbiani, F. R. B. (2007). **Desenvolvimento e caracterização de filmes ativos de alginato de sódio reticulados com benzoato de cálcio** (Doctoral dissertation, [sn]).

Yerovi, D. S. T. (2023). **Filmes biodegradáveis de alginato de sódio, pla e pva incorporados de compostos antioxidantes e antimicrobianos.**

APÊNDICE A - TABELAS COMPLEMENTARES

Tabela 1 - Massas das triplicatas (Lote 1*) - Tomates em temperatura ambiente.

Pesagem	Tomate	Controle	Tratamento 1**	Tratamento 2***
Dia 1	1	129,0815	135,6315	145,2322
	2	111,3292	128,8042	114,2256
	3	107,4375	146, 1478	132,3528
	média(g)	115,9494	136,8612	130,6035
	perda de massa (%)	0,00	0,00	0,00
Dia 4	1	127,5678	133,5643	142,0178
	2	110,3467	125,9108	112,9237
	3	105,7763	143,8745	128,6987
	média(g)	114,5636	134,4499	127,8801
	perda de massa (%)	1,20	1,76	2,09
Dia 6	1	125,9163	131,2839	138,1590
	2	109,1999	123,0020	111,3755
	3	104,2590	141,2231	128,1643
	média(g)	113,1251	131,8363	125,8996
	perda de massa (%)	2,44	3,67	3,60
Dia 11	1	125,1429	130,1220	136,1220
	2	108,6274	121,4384	110,5826
	3	103,4602	139,6835	122,1360
	média(g)	112,4102	130,4146	122,9469
	perda de massa (%)	3,05	4,71	5,86
Dia 12	1	124,8736	129,7269	135,4664
	2	108,4248	120,8816	110,3069
	3	103,1427	138,9006	121,1701
	média(g)	112,1470	129,8364	122,3145
	perda de massa (%)	3,28	5,13	6,35

Fonte: próprio autor, 2025.

*Experimentos realizados entre 15 a 26 de setembro de 2025.

**Bioplástico: recobrimento com alginato de sódio 1% e nitrato de cálcio 10%.

***Bioplástico e óleo essencial de alecrim: recobrimento com alginato de sódio 1%, 0,1% de óleo essencial de alecrim e nitrato de cálcio 10%.

Tabela 2 - Massas das triplicatas (Lote 2*) - Tomates em temperatura ambiente.

Pesagem	Tomate	Controle	Tratamento 1**	Tratamento 2***
Dia 1	1	101,1033	111,0265	95,1732
	2	128,1269	132,2147	104,1490
	3	118,1217	137,2346	104,7773
	média(g)	115,7840	126,8253	101,3665
	perda de massa (%)	0,00	0,00	0,00
Dia 4	1	100,3906	107,6663	93,9605
	2	127,0745	130,7637	102,6634
	3	117,4194	135,9031	103,6774
	média(g)	114,9615	124,7777	100,1004
	perda de massa (%)	0,71	1,61	1,25
Dia 6	1	99,3999	104,7477	91,9633
	2	125,0577	111,7447	100,6690
	3	116,0994	134,3331	100,6690
	média(g)	113,5190	116,9418	98,4356
	perda de massa (%)	1,96	7,79	2,89
Dia 11	1	98,5611	100,7396	90,9455
	2	124,6630	106,9395	99,5811
	3	115,6082	133,1231	101,1532
	média(g)	112,9441	113,6007	97,2266
	perda de massa (%)	2,45	10,43	4,08
Dia 12	1	97,9568	98,1146	90,1315
	2	123,7066	87,6525	98,7799
	3	115,0509	132,5210	100,3658
	média(g)	112,2381	106,0960	96,4257
	perda de massa (%)	3,06	16,34	4,87

Fonte: próprio autor, 2025.

*Experimentos realizados entre 22 de setembro a 03 de outubro de 2025.

**Bioplástico: recobrimento com alginato de sódio 1% e nitrato de cálcio 10%.

***Bioplástico e óleo essencial de alecrim: recobrimento com alginato de sódio 1%, 0,1% de óleo essencial de alecrim e nitrato de cálcio 10%.

Tabela 3 - Massas das triplicatas (Lote 1*) - Tomates refrigerados.

Pesagem	Tomate	Controle	Tratamento 1**	Tratamento 2***
Dia 1	1	145,4651	127,1740	122,1094
	2	125,4411	120,2212	118,3436
	3	108,0252	103,9098	108,8879
	média(g)	126,3105	115,5419	115,4987
	perda de massa (%)	0,00	0,00	0,00
Dia 4	1	144,4451	126,0188	121,1307
	2	124,5992	119,1488	117,3652
	3	107,3188	98,3335	106,6367
	média(g)	124,5992	114,5004	115,0442
	perda de massa (%)	1,35	0,90	0,39
Dia 6	1	143,0572	125,2090	120,5432
	2	123,7180	118,2880	116,5715
	3	106,6990	97,4503	105,3120
	média(g)	124,4914	113,6491	114,1422
	perda de massa (%)	1,44	1,64	1,17
Dia 11	1	142,0324	124,5573	119,9105
	2	123,1510	117,5634	116,0417
	3	106,1784	96,7190	103,9098
	média(g)	123,7873	112,9466	113,2873
	perda de massa (%)	2,00	2,25	1,91
Dia 12	1	141,6271	124,5573	119,7501
	2	122,8910	116,0417	115,8327
	3	105,9610	96,1384	103,3924
	média(g)	123,4930	110,6969	112,9917
	perda de massa (%)	2,23	4,19	2,17

Fonte: próprio autor, 2025.

*Experimentos realizados entre 15 a 26 de setembro de 2025.

**Bioplástico: recobrimento com alginato de sódio 1% e nitrato de cálcio 10%.

***Bioplástico e óleo essencial de alecrim: recobrimento com alginato de sódio 1%, 0,1% de óleo essencial de alecrim e nitrato de cálcio 10%.

Tabela 4 - Massas das triplicatas (Lote 2*) - Tomates refrigerados.

Pesagem	Tomate	Controle	Tratamento 1**	Tratamento 2***
Dia 1	1	97,9730	-	117,3088
	2	110,2990	119,9290	118,5416
	3	106,0395	122, 8190	135,9518
	média(g)	109,4891	121,3740	123,9341
	perda de massa (%)	0,00	0,00	0,00
Dia 4	1	112,1288	-	116,5015
	2	109,9186	109,9186	117,8179
	3	105,5410	121,8970	134,9389
	média(g)	109,1543	120,2278	123,0861
	perda de massa (%)	0,31	0,94	0,68
Dia 6	1	112,0034	-	115,6015
	2	109,2934	115,8078	117,1033
	3	105,0342	119,3761	133,6288
	média(g)	108,4821	117,5920	112,1112
	perda de massa (%)	0,92	3,12	1,47
Dia 11	1	111,1188	-	114,9939
	2	108,8887	113,8060	116,3175
	3	104,2704	115,8173	132,5425
	média(g)	107,9948	114,8117	121,2846
	perda de massa (%)	1,36	5,41	2,14
Dia 12	1	110,8253	-	114,4990
	2	108,5867	106,2345	115,8005
	3	103,8062	108,8232	131,7860
	média(g)	103,4553	107,5289	120,6952
	perda de massa (%)	5,51	11,41	2,61

Fonte: próprio autor, 2025.

*Experimentos realizados entre 22 de setembro a 03 de outubro de 2025.

**Bioplástico: recobrimento com alginato de sódio 1% e nitrato de cálcio 10%.

***Bioplástico e óleo essencial de alecrim: recobrimento com alginato de sódio 1%, 0,1% de óleo essencial de alecrim e nitrato de cálcio 10%.

TABELA 9 - Imagens dos lotes ao decorrer dos dias

LOTES CONFORME OS DIAS	LOTE 1	LOTE 2
AMBIENTE - DIA 1		
AMBIENTE - DIA 12		
REFRIGERADO - DIA 1		

TABELA 9 - Imagens dos lotes ao decorrer dos dias

REFRIGERADO - DIA 12

