

ESTUDO DA VIABILIDADE ANTIMICROBIANA DE BIOPOLÍMEROS DE DERIVADOS DE BANANEIRA (*MUSA SPP.*) FRENTE AO CRESCIMENTO DE *SALMONELLA SPP.*

Tamiris Cristiane Dionísio Gonçalves¹, Pedro Augusto Alves Coelho Naves¹, Tamires da Silva Bastos¹; Wilson Joaquim Boitrigo¹; Elaine Alves dos Santos¹, Fernanda Raghianti¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – IFTM – Campus Uberlândia, MG, Brasil (tamiris.goncalves@estudante.iftm.edu.br)

Resumo: Filmes sustentáveis de *Musa spp.* (folhas e cascas) foram obtidos via *casting* sem defeitos físicos. Incorporados com 2 % de ácido tânico, os materiais apresentaram-se homogêneos e altamente solúveis em água, mas não inibiram *Salmonella* Enteritidis. Sugere-se que a carga ativa ficou abaixo do limiar inibitório devido a limites de solubilidade do próprio ácido e sua retenção na matriz. O estudo valida esses coprodutos para embalagens bioativas e economia circular.

Palavras-chave: Embalagens bioativas; biodegradabilidade; coprodutos; *casting*.

INTRODUÇÃO

No cenário contemporâneo, a geração desenfreada de resíduos plásticos de origem fóssil e sua persistência no meio ambiente tornaram-se temas centrais em debates ecológicos e científicos globais. O consumo massivo desses materiais poliméricos, aliado a sistemas de descarte ineficientes e irregulares, figura entre os desafios ambientais mais severos deste século, demandando a formulação urgente de medidas mitigadoras de redução, reuso e reciclagem, paralelamente ao desenvolvimento científico de novos materiais que possuam menor pegada ecológica (Burri *et al.*, 2024). Dentro deste contexto, a indústria de alimentos destaca-se como um dos setores de maior impacto negativo, uma vez que utiliza, de maneira majoritária e contínua, embalagens plásticas convencionais de uso único devido à sua notável praticidade, baixo custo de produção e propriedades protetivas consagradas (Silva; Brinques; Gurak, 2020).

Apesar desse passivo socioambiental, a produção global de plásticos tradicionais segue em ritmo de crescimento contínuo, impulsionada por uma demanda de mercado sempre aquecida e pela busca constante por novas aplicações tecnológicas industriais. Todavia, como contraforça a essa tendência degradativa, a capacidade produtiva global de bioplásticos também tem apresentado uma forte curva de expansão tecnológica e comercial, com projeções de mercado altamente promissoras que estimam um salto na produção mundial de cerca de 2,47 milhões de toneladas em 2024 para

aproximadamente 5,73 milhões de toneladas até o ano de 2029 (European Bioplastics, 2024).

Diante desse cenário de transição produtiva, reduzir o volume de embalagens utilizadas e compreender profundamente os seus ciclos de vida e impactos ecológicos são ações fundamentais para fomentar um ecossistema de produção e consumo que seja verdadeiramente sustentável. O excesso de embalagens e o descarte de materiais de difícil reciclabilidade aceleram de forma drástica a degradação dos recursos naturais; por conseguinte, torna-se imperativo investir no desenvolvimento de produtos biodegradáveis de fontes renováveis e de baixo impacto ecológico (Wlodarkiewicz; Mignoni, 2024).

É nesse nicho tecnológico que os biopolímeros se consolidam como uma alternativa de vanguarda, pois, além de reduzirem a dependência de combustíveis fósseis por serem sintetizados a partir de matérias-primas de base biológica, muitos deles apresentam características de biodegradabilidade e compostabilidade que mimetizam os ciclos biogeoquímicos naturais, promovendo os preceitos da economia circular e, simultaneamente, atuando na proteção e extensão da vida útil de produtos comerciais (Pinto Torres; Cardona Gómez; Polanco Puerta, 2023).

Ademais, a diversidade de bioplásticos que se encontram atualmente disponíveis no mercado internacional compreende uma família extremamente ampla de macromoléculas, cujas propriedades físico-químicas, mecânicas e térmicas variam



substancialmente de acordo com a origem e a natureza de sua matéria-prima precursora (European Bioplastics, 2024). Esses diferentes grupos poliméricos diferenciam-se primordialmente pela sua arquitetura molecular e conformação química, fatores intrínsecos que determinam de forma direta o comportamento do material ao fim de sua vida útil, definindo se o seu processo de decomposição biológica resultará na liberação prejudicial de gases de efeito estufa na atmosfera ou se ocorrerá uma mineralização completa, limpa e biocompatível do material no solo ou na água (Castro, 2021).

Para além de suas indiscutíveis vantagens ecológicas e de sua origem renovável, a viabilidade técnica e comercial desses novos materiais biodegradáveis está estritamente condicionada à sua capacidade de atuar como barreiras físicas e funcionais de alta eficiência. Para proteger adequadamente o produto embalado contra danos mecânicos e deterioração biológica decorrente de agentes externos, as embalagens precisam apresentar propriedades mecânicas e de barreira consolidadas. Sob essa perspectiva, o desenvolvimento de filmes poliméricos delgados e estruturalmente íntegros mostra-se essencial para isolar de forma eficiente o conteúdo interno contra interações deletérias com a umidade relativa do ar, trocas indesejadas de gases (como o oxigênio) e o contato com óleos e gorduras, fatores que acelerariam processos oxidativos e degradariam de maneira precoce a qualidade fitoquímica e sensorial dos alimentos (Souza, 2021).

Contudo, os polímeros naturais frequentemente enfrentam limitações severas de resistência mecânica e propriedades de barreira quando comparados aos polímeros de engenharia tradicionais. Para superar esses gargalos técnicos, a moderna ciência de materiais foca seus esforços no rearranjo intencional da estrutura granular e molecular desses polímeros de origem natural, buscando promover a formação de redes viscoelásticas estáveis e coesas por meio de interações químicas e físicas controladas. O sucesso na síntese dessas matrizes deve, necessariamente, resultar em uma superfície polimérica contínua, perfeitamente homogênea e livre de fissuras, porosidades ou microfissuras que comprometeriam irremediavelmente a uniformidade estética, a resistência à tração e a funcionalidade de barreira do biopolímero. Para tanto, o controle extremamente rigoroso de variáveis de processo, tais como o tempo e a taxa de agitação, é fundamental para assegurar um material final flexível e altamente resistente através da inibição total de bolhas de ar incorporadas ou de outras falhas microestruturais internas ao longo da matriz polimérica (Del Vecchio, 2022).

Alinhada ao desenvolvimento desses novos materiais, a valorização de coprodutos e resíduos derivados da atividade agroindustrial surge como uma vertente

estratégica crucial para atenuar os problemas do descarte incorreto de rejeitos orgânicos e, concomitantemente, extrair biomoléculas funcionais ricas em fibras estruturais e compostos antioxidantes (Guimarães *et al.*, 2023). O aproveitamento sistemático desses coprodutos não apenas viabiliza uma fonte abundante, renovável e de baixíssimo custo de matéria-prima para a síntese macromolecular, mas também agrega um valor intangível substancial à imagem de sustentabilidade corporativa da indústria de embalagens, impulsionando cadeias produtivas de desperdício zero (Barros *et al.*, 2017).

Uma das aplicações mais sofisticadas dessas matérias-primas agroindustriais reside no desenvolvimento de embalagens bioativas. A conservação de alimentos frescos e processados é um requisito básico para assegurar sua segurança microbiológica e integridade para o consumo humano. Nesse âmbito, as embalagens bioativas se destacam como uma alternativa altamente relevante por estabelecerem uma interação funcional e dinâmica com o próprio alimento ou com o microambiente interno da embalagem, liberando substâncias ativas que atuam diretamente na manutenção da qualidade e no prolongamento da vida útil dos produtos. O grande trunfo dessa tecnologia é a incorporação de aditivos naturais e biodegradáveis com propriedades biológicas comprovadas, unindo a eficácia de conservação à preservação ambiental e ao ecodesenho de produtos (Burri *et al.*, 2024).

Dentre as principais ameaças à conservação e segurança alimentar que essas embalagens visam combater, destacam-se as enterobactérias. Estes microrganismos de origem intestinal, que habitam naturalmente o trato gastrointestinal de seres humanos e de animais homeotérmicos, são amplamente adotados na legislação sanitária como indicadores biológicos clássicos de contaminação de origem fecal e de falhas críticas nas boas práticas de higiene durante as etapas de processamento, transporte ou manipulação de alimentos. Tais bactérias são potenciais e frequentes agentes contaminantes de uma vasta gama de produtos alimentícios de alta rotatividade, com destaque para alimentos de origem animal (como carnes e ovos), vegetais consumidos crus, produtos lácteos e refeições prontas para o consumo. Um dos gêneros mais patogênicos e representativos desse grupo é a *Salmonella* spp., agente etiológico capaz de desencadear surtos epidemiológicos graves de infecções alimentares, manifestando-se desde gastroenterites agudas até quadros sistêmicos graves como septicemias e a síndrome hemolítico-urêmica (Franco; Landgraf, 2023).

Em suma, o emprego direcionado de biopolímeros ativos com propriedades funcionais desponta como uma rota viável, segura e inovadora para mitigar a contaminação microbiana superficial em alimentos.

Essa tecnologia resulta não somente no prolongamento da vida útil de alimentos frescos e altamente perecíveis, mas também atua ativamente na redução de perdas econômicas e do desperdício de alimentos ao longo da cadeia de suprimentos, além de abrir novas fronteiras para a pesquisa e desenvolvimento no setor de embalagens inteligentes. Para além da atividade puramente antimicrobiana, outras funcionalidades acessórias têm sido proativamente exploradas pelos cientistas de materiais, tais como o potencial antioxidante de sequestro de radicais livres e propriedades anti-inflamatórias indiretas que agregam valor nutricional e funcional ao produto acondicionado. Diante dessa perspectiva tecnológica e de consumo, o futuro dos biopolímeros funcionais e comestíveis revela-se altamente promissor em um mercado global crescentemente orientado para a segurança alimentar e a sustentabilidade ecológica (Silva; Sena; Ghesti, 2024).

Para contribuir ativamente com esse campo científico, o presente estudo tomou como embasamento metodológico e conceitual o trabalho preexistente realizado por Burri *et al.* (2024), avançando sobre os seus achados ao desenvolver e testar duas formulações distintas de bioplásticos com foco direcionado na sua atividade antimicrobiana frente à bactéria patogênica *Salmonella* Enteritidis (ATCC 13076).

Partindo da premissa crítica de que a imensa maioria dos plásticos de uso corrente na indústria de alimentos provém de matrizes fósseis não renováveis e de baixíssima biodegradabilidade, atuando como vetores de poluição ambiental sistemática, esta pesquisa teve como objetivo geral desenvolver e caracterizar físico-quimicamente biopolímeros ativos com potencial ação antimicrobiana. De forma específica, buscou-se formular biopolímeros ativos utilizando como matrizes estruturais resíduos agroindustriais da folha de bananeira (*Musa* spp.) e da casca de bananas em diferentes estágios de maturação fisiológica, incorporando o ácido tânico como agente fitoquímico ativo. Posteriormente, avaliou-se de forma comparativa a eficácia antimicrobiana dessas formulações inovadoras frente à cepa de *Salmonella* Enteritidis. Pretendeu-se, com esta abordagem, propor uma alternativa biotecnológica viável que auxilie na preservação e segurança de sistemas alimentares por meio do controle do crescimento microbiano de patógenos altamente resistentes às pressões ambientais normais.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do experimento, as folhas de bananeira (*Musa* spp.) foram adquiridas no IFTM, Campus Uberlândia. As bananas para utilização da casca, da variedade nanica (*Musa acuminata*), foram

obtidas no comércio local nos estágios verde e maduro.

A preparação do extrato da folha de bananeira seguiu a metodologia descrita por Burri *et al.* (2024), com adaptações. Após a coleta, as folhas de bananeira foram picadas e submetidas à secagem em estufa a 35 °C por um período de 48 horas. Em seguida, foram trituradas até a obtenção de um pó fino e homogêneo. Para a extração dos compostos bioativos, 10 gramas do pó foram misturados a 150 mL de álcool de cereais, em duas repetições. A mistura foi mantida em mesa agitadora a 150 rpm (rotações por minuto) durante 3 horas. Após esse período, o extrato foi filtrado em papel filtro comum e armazenado em frasco hermético esterilizado, sob refrigeração e protegido da luz, visando preservar suas propriedades químicas e biológicas. O extrato da casca da banana foi preparado da mesma forma que o da folha. Para tanto, foram utilizadas cascas provenientes de bananas em dois estágios de maturação: 1 e 5 (verde e madura, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 1). Convém destacar que, quanto mais maduro o fruto, menor é o teor de taninos na casca das bananas, composto este que possui reconhecida ação antimicrobiana.

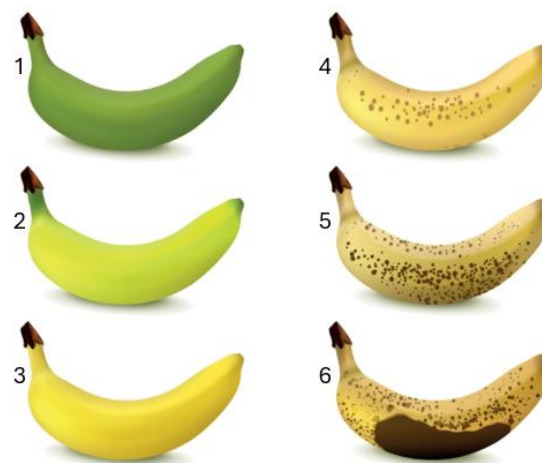


Figura 1. Estágios de maturação da banana nanica (*Musa acuminata*).

Fonte: Adaptado de Vecteezy (2023).

Para a obtenção do biopolímero, foram empregados 10 g de gelatina incolor, 5 g de glicerina bidestilada e 90 mL de água destilada. Os componentes foram homogeneizados sob agitação constante e aquecidos até atingir 90 °C. Após essa etapa, a mistura foi resfriada até 45 °C, temperatura na qual foram incorporados 10 mL de extrato alcoólico e 10 mL de solução de ácido tânico a 2 % (m/v). Em seguida, 17 g da formulação foram vertidos em três placas de Petri plásticas descartáveis (90 mm x 15 mm), as quais foram transferidas para estufa de secagem a 35 °C por 24 horas para a formação do filme polimérico. Foram

elaborados e testados biopolímeros sem a adição do ácido tânico também (Figura 2).

Após a etapa de secagem do bioplástico, foi realizado o experimento para avaliar sua atividade antibacteriana, com o objetivo de verificar a capacidade do material em inibir o crescimento microbiano. Para o ensaio, utilizou-se uma cepa padrão de *Salmonella Enteritidis* (ATCC – *American Type Culture Collection* - 13076), adquirida comercialmente. Antes do teste, a bactéria foi reativada em caldo BHI (*Brain Heart Infusion*) e incubada a 35 °C por 24 horas. Repiques seguidos nas mesmas condições foram realizados para otimizar o isolamento.



Figura 2. Filmes poliméricos obtidos no experimento a partir da folha da bananeira e das cascas verdes e maduras da banana nanica (*Musa acuminata*). Fonte: os autores (2026).

Em seguida, a bactéria foi semeada em Ágar Mueller-Hinton (MH) e incubada em estufa microbiológica a 35 °C por 24 horas. Após a incubação, a cultura bacteriana foi diluída em solução salina 0,9 % até atingir turbidez equivalente à escala 0,5 de McFarland, padrão utilizado para a padronização da concentração celular. Posteriormente, uma alíquota de 150 µL da suspensão foi inoculada em placa de Petri contendo o meio Ágar MH, sendo espalhada uniformemente com o auxílio de uma alça de Drigalski. Foram cortados três discos do bioplástico, com 6 mm de diâmetro cada, os quais foram posicionados em triplicata sobre a superfície do meio inoculado. As placas foram incubadas em estufa a 35 °C por 24 horas. Ao final do período, procedeu-se à verificação dos resultados.

Os testes foram realizados em triplicata, sendo efetuadas três repetições para cada tratamento (extrato da folha de bananeira, casca de banana verde e casca de banana madura). Os dados obtidos foram tabulados no programa Microsoft Excel, sendo expressos por meio da média simples entre as triplicatas e comparados entre si.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A transição de um modelo de economia linear para modelos circulares é um imperativo contemporâneo para mitigar os danos ambientais gerados pelo descarte de plásticos convencionais, impulsionando a pesquisa por materiais provenientes de biomassa renovável. Nesse cenário, as políticas públicas brasileiras, embora ainda careçam de legislações específicas para a circularidade, começam a sinalizar a necessidade de substituir polímeros fósseis por alternativas biodegradáveis que mantenham os recursos em uso pelo maior tempo possível (Silva *et al.*, 2021).

O aproveitamento de resíduos da cadeia hortofrutícola, especificamente os derivados da bananeira (*Musa* spp.), destaca-se pelo elevado potencial biotecnológico de suas folhas e cascas, que são ricas em compostos bioativos como taninos e fenólicos. O Brasil, sendo um dos maiores produtores mundiais de frutas, gera volumes massivos desses subprodutos que, se processados adequadamente, podem agregar valor à imagem de sustentabilidade da indústria de embalagens (Barros *et al.*, 2017).

Neste estudo, os biopolímeros desenvolvidos a partir de extratos de *Musa* spp. e ácido tânico não apresentaram halos de inibição frente à cepa padrão de *Salmonella* Enteritidis (ATCC 13076). Em todas as triplicatas e repetições experimentais, o micro-organismo foi classificado como resistente às formulações testadas, indicando que a viabilidade antimicrobiana pretendida não foi alcançada sob as condições específicas deste ensaio.

A ausência de eficácia antimicrobiana observada difere dos resultados obtidos por Burri *et al.* (2024), que verificaram sucesso na inibição de enterobactérias utilizando biopolímeros similares. Uma variável crítica na comparação entre os estudos é a concentração do agente ativo, visto que este experimento utilizou uma dosagem de 2 %, enquanto a literatura de referência obteve êxito com soluções de ácido tânico a 20 %. A decisão técnica pela utilização da concentração de 2 % foi fundamentada em limitações experimentais de solubilidade. Durante a etapa de formulação, observou-se que não foi possível atingir a solubilidade alcóolica e em água completas do ácido tânico na concentração de 20 % dentro do sistema solvente utilizado para os extratos de folha e casca.

A saturação do meio impediria a homogeneização adequada da solução filmogênica, o que é um fator crítico para a qualidade do bioplástico final. A presença de solutos não dissolvidos na matriz de gelatina e glicerina poderia resultar em partículas sólidas suspensas, atuando como pontos de fragilidade mecânica e comprometendo a transparência e a flexibilidade do material (Del Vecchio, 2022).

Além disso, o excesso de matéria-prima não solubilizada na interface da matriz altera a mobilidade molecular e a capacidade de migração de compostos ativos. Para garantir a produção de filmes com espessura homogênea e sem defeitos estruturais, optou-se pela dosagem de 2 %, garantindo uma rede polimérica íntegra e visualmente uniforme (Jacobs *et al.*, 2020).

Durante a elaboração dos filmes pelo método de *casting*, a ausência de defeitos físicos como bolhas foi um ponto positivo para a qualidade final do material. A inibição de bolhas através de agitação controlada e ajustes na viscosidade garante a integridade da estrutura amorfa do bioplástico, evitando falhas mecânicas que poderiam comprometer a distribuição homogênea dos ativos incorporados na matriz (Del Vecchio, 2022).

Apesar da falta de inibição biológica, o processo produtivo demonstrou rigor técnico na manutenção de parâmetros físicos essenciais, como a espessura dos filmes (Figura 3). Manter a espessura homogênea e compatível com os padrões de referência é fundamental para garantir a uniformidade do material, a repetibilidade das medidas de suas propriedades e a validade das comparações entre diferentes lotes de biopolímeros (Jacobs *et al.*, 2020).



Figura 3. Biopolímero retirado da placa de Petri com ausência de bolhas e defeitos físicos.
Fonte: os autores (2026).

A atividade dos taninos sobre patógenos gram-negativos é estritamente dose-dependente, ocorrendo através da ligação desses compostos fenólicos com as proteínas da membrana celular para destruir sua integridade estrutural. Em dosagens reduzidas, a carga de polifenóis pode ser insuficiente para causar a perda de componentes intracelulares necessária para a morte bacteriana, especialmente em patógenos robustos reconhecidos por sua resistência a estresses ambientais (Souza *et al.*, 2022).

Adicionalmente, observou-se que os biopolímeros produzidos apresentaram alta solubilidade em água, característica que corrobora a proposta de um material 100 % natural e altamente degradável (Figura 4). Embora a solubilidade total possa ser vista como um limitador para embalagens de longa duração, ela é um atributo positivo quando o objetivo é o desenvolvimento de embalagens de uso rápido e descarte imediato, que sofrem interações rápidas com o meio para acelerar sua mineralização (ROSSINI *et al.*, 2025).

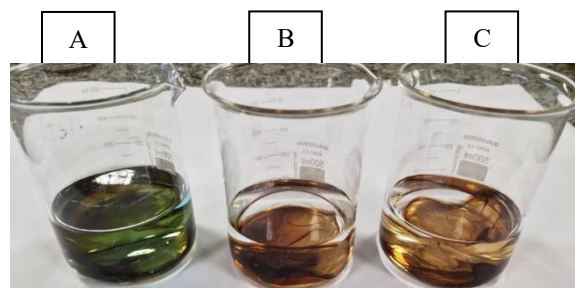


Figura 4. Teste de solubilidade em água dos biopolímeros acrescidos de ácido tânico: A. folha da bananeira; B. casca verde da banana nanica; C. casca madura da banana nanica.

Fonte: os autores (2026).

A alta solubilidade observada é um indicador fundamental da higroscopicidade, característica intrínseca de polímeros baseados em amidos e proteínas vegetais que se desintegram rapidamente em meio aquoso. Materiais que sofrem interações imediatas com a água tendem a apresentar uma taxa de biodegradação superior, o que reforça a proposta de um bioplástico genuinamente compostável e de baixo impacto residual (Rossini *et al.*, 2025).

Contudo, a interação química entre a matriz biopolimérica de gelatina e glicerina com os extratos naturais pode ter influenciado a retenção dos taninos dentro da rede polimérica, uma vez que a dispersão de aditivos na interface da matriz altera significativamente a mobilidade molecular e a capacidade de migração de compostos ativos (Jacobs *et al.*, 2020). Essa retenção dificulta a difusão dos agentes fenólicos para o meio de cultura Ágar



Mueller-Hinton, impedindo que o ácido tânico atinja a superfície bacteriana em uma densidade letal, fator crítico já que a funcionalidade antimicrobiana depende diretamente da estabilidade e da liberação controlada da carga bioativa incorporada (Souza *et al.*, 2022).

A variação fitoquímica dos extratos de banana também deve ser considerada, visto que o teor de compostos bioativos totais diminui drasticamente conforme o estágio de maturação do fruto avança. O uso de cascas em estágios avançados de amadurecimento (estágio 5) resulta em extratos com menor potencial de inibição microbiológica, o que reforça a necessidade de otimizar os métodos de extração para maximizar a carga de taninos livres na formulação (Oliveira *et al.*, 2018).

A ausência de microplásticos persistentes é outra vantagem crítica da utilização desses derivados de bananeira, contrastando com os polímeros sintéticos que levam séculos para se decompor. Ao desenvolver um filme que se solubiliza e se degrada totalmente, o trabalho contribui para mitigar a disseminação desses poluentes que hoje afetam ecossistemas marinhos e terrestres globalmente (Flury; Narayan, 2021).

O enriquecimento de matrizes biopoliméricas com coprodutos de frutas tropicais tem demonstrado elevado potencial para inovações tecnológicas no setor de embalagens. A preservação da qualidade fitoquímica durante o processamento é essencial para que esses insumos subutilizados possam combater a insegurança alimentar e promover a sustentabilidade por meio da economia circular (Guimarães *et al.*, 2023).

Para que um biopolímero seja uma alternativa viável ao plástico convencional, ele deve equilibrar sua capacidade de biodegradação com a eficácia funcional necessária para garantir a segurança alimentar. A prática de desenvolver materiais sustentáveis exige rigor técnico na dosagem de ativos biológicos, indicando que o retorno a concentrações de 20 % de ácido tânico é necessário para assegurar a proteção contra patógenos como *Salmonella* spp. (Thakur *et al.*, 2018; Burri *et al.*, 2024).

Em suma, embora os filmes sintetizados via *casting* a partir de coprodutos de *Musa* spp. tenham apresentado excelente integridade física, homogeneidade e viabilidade de processamento, a ausência de atividade inibitória frente à *Salmonella* Enteritidis revela as limitações do sistema ativo na concentração avaliada, identificando com precisão o limite inferior de atividade biológica para essas matrizes. Esse comportamento sugere que a incorporação de 2 % de ácido tânico posicionou-se abaixo da concentração inibitória mínima (CIM) necessária para esse patógeno específico, possivelmente devido à forte retenção do composto ativo na matriz polimérica ou

aos limites de solubilidade do próprio ácido tânico, o que restringiu sua difusão para o meio externo. Não obstante essa limitação microbiológica temporária, a consolidação física das matrizes biodegradáveis, a manutenção das propriedades físicas de espessura e a alta degradabilidade em água confirmam o potencial desses materiais para aplicações onde a sustentabilidade e a decomposição acelerada são prioridades sobre a barreira antimicrobiana prolongada (Gonçalves *et al.*, 2024), validando o uso de folhas e cascas de banana no âmbito da economia circular e abrindo perspectivas fundamentais para estudos subsequentes focados no ajuste da carga ativa e na modulação de interações intermoleculares para viabilizar a liberação controlada do agente fitoquímico.

CONCLUSÃO

Este trabalho logrou êxito na padronização de um protocolo de fabricação por *casting* que assegurou a obtenção de biopolímeros com espessura homogênea e ausência de bolhas, garantindo a integridade estrutural necessária para futuras aplicações tecnológicas. O aproveitamento integral de subprodutos da bananeira valoriza a biomassa renovável e abundante do país, transformando resíduos agroindustriais em insumos de baixo custo dentro da lógica da economia circular. Observou-se que a incorporação de 2 % de ácido tânico não resultou em inibição do crescimento de *Salmonella* Enteritidis sob as condições testadas, indicando a necessidade de novas investigações para avaliar se variações na densidade dos ativos poderiam conferir a funcionalidade antimicrobiana desejada.

A alta solubilidade em água apresentada pelos filmes constitui um atributo funcional estratégico para o desenvolvimento de embalagens de uso rápido e descarte imediato, facilitando a biodegradação acelerada e a mineralização do material no ambiente. Diferentemente dos plásticos convencionais, o biopolímero desenvolvido minimiza o risco de geração de microplásticos persistentes, reintegrando-se à natureza em curto espaço de tempo. Em suma, a pesquisa entrega uma base técnica que valida as matrizes derivadas de *Musa* spp. como materiais estáveis e ambientalmente seguros, servindo como ponto de partida para o design de bioplásticos que priorizem a sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua sincera gratidão a todos os voluntários e sujeitos que colaboraram diretamente com a realização desta pesquisa, cuja participação foi fundamental para a coleta de dados e viabilização deste estudo. Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio da concessão de bolsa de Iniciação Científica à graduanda em



Engenharia de Alimentos do IFTM Campus Uberlândia, Tamiris Cristiane Dionísio Gonçalves, processo nº 23201.005005/2025-24 (Edital 05/2025 – PIBIT CNPq).

REFERÊNCIAS

BARROS, T. T. de; TOSI, M. M.; ASSIS, O. B. G. Aproveitamento de rejeitos da cadeia hortofrutícola no processamento de plásticos biodegradáveis. **Revista Gestão Industrial**, v. 13, n. 2, p. 215-229, 2017.

BURRI, H.P.; OLIVEIRA, O.A.A.; SANTOS, C.R.; KLAUCK, A.P. Plástico biodegradável com ação antimicrobiana. **Protagonista Revista Científica**, v. 5, n. 1, p. 48-52, 2024.

CASTRO, Í. B. Bioplásticos, plásticos biodegradáveis e outras falsas soluções. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 58, p. 54-57, 2021.

DEL VECCHIO, G. R. S. Bioplástico proveniente do amido da batata-doce e aprimoramento para impedir formação de bolhas. **Simpósio de Tecnologia Fatec Jaboticabal**, n. 2022, p. 71-76, 2022.

FLURY, M.; NARAYAN, R. Biodegradability of plastics: challenges and misconceptions. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 30, p. 100490, 2021.

FRANCO, B.D.G.M; LANDGRAF, M. **Microbiologia de Alimentos**. 2.ed. São Paulo: Atheneu, 2023. 312p.

GONÇALVES, T. C. D.; NAVES, P. A. A. C.; SANTOS, E. A. dos; RAGHIANTE, F. **Estudo da viabilidade antimicrobiana de biopolímeros de derivados de bananeira (Musa spp.) frente ao crescimento de Salmonella spp.** Uberlândia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – IFTM, 2024.

GUIMARÃES, M. L. L.; VIANA, E. B. M.; SILVA, L. E. da; ZANUTO, M. E.; SOUZA, C. C. E. de. O potencial dos coprodutos de frutas tropicais e sua utilização na formulação de novos produtos alimentícios. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e14312240012, 2023.

JACOBS, V.; SOUZA, F. S.; HAMM, J. B. S.; MANCILHA, F. S. Produção e caracterização de biofilmes de amido incorporados com polpa de acerola. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 21, n. 3, p. 107-119, 2020.

OLIVEIRA, E. N. A.; NETO, J. O. O.; FEITOSA, B. F.; GERMANO, A. M. L. O.; FEITOSA, R. M. Use of banana peel in the elaboration of candy mariola type. **Científica**, v. 46, n. 3, p. 199–206, 2018.

PINTO TORRES, C. A.; CARDONA GÓMEZ, J.; POLANCO PUERTA, M. F. Percepción de consumidores y perspectivas de industrias de alimentos de Cali sobre el uso de bioplástico en sus empaques. **Revista Universidad y Empresa**, v. 25, n. 44, p. 1-40, 2023.

ROSSINI, L. de A.; FRANÇOIS, A. L.; MAGALHÃES, B. S. G.; SANTOS, T. R. D. dos. Síntese e caracterização de biofilme à base de amido de pinhão. **Revista Thêma et Scientia**, v. 15, n. 1, p. 243-263, 2025.

SILVA, M. L. T.; BRINQUES, G. B.; GURAK, P. D. Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amido de milho contendo farinha de subproduto de broto. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. 1-13, 2020.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F.A.; TANIWAKI, M.H.; GOMES, R.A.R.; OKAZAKI, M.M.; IAMANAKA, B.T. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água**. 6.ed. São Paulo: Blucher, 2021. 602 p.

SILVA, T. G. E.; PONTES, A. C. da S. J. E.; MUSETTI, M. A.; OMETTO, A. R. Economia circular: um panorama do estado da arte das políticas públicas no Brasil. **Revista Produção Online**, v. 21, n. 3, p. 951-972, 2021.

SOUZA, M. P.; AMORIM, F. D.; FERREIRA, M. R. A.; SOARES, L. A. L.; MELO, M. A. Estabilidade oxidativa e de armazenamento em hambúrgueres bovinos a partir da utilização de compostos bioativos dos resíduos agroindustriais do maracujá (*Passiflora edulis*). **Food Science and Technology**, v. 48, p. 101823, 2022.

THAKUR, S.; CHAUDHARY, J.; SHARMA, B.; VERMA, A.; TAMULEVICIUS, S.; THAKUR, V. K. Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 13, p. 68-75, 2018.

VECTEEZY. **Estágios de maturação da banana nanica (Musa acuminata)**. [S. l.]: Vecteezy, 2023. Disponível em: <https://pt.vecteezy.com/artes-vetorial/19774612-banana-amadurecimento-estagios> Acesso em: 15 jul. 2026.

WLODARKIEWICZ, M. E.; MIGNONI, M. L. Bioplásticos: uma revisão teórica sobre uso de



nanocelulose e amido derivados de resíduos
agroalimentares. **Revista Perspectiva**, v. 48, n. 182,
p. 89-103, 2024.