



DESENVOLVIMENTO DO FILME INTELIGENTE À BASE DE AMIDO E PÓ SECO DA CASCA DA BATATA-DOCE ROXA (*Ipomoea batatas* L.) APLICADO AO MONITORAMENTO DE ALIMENTOS

Eduarda Gabrielli Batista Santos
Eveli Izabela Lopes Santo
Gabrielle Dezotti Tonetti Tristão de Oliveira
Geovanna Karolina Oliveira Correia

Orientadora: Prof^a. Especialista Thais Taciano dos Santos

Coorientadora: Prof^a Dr^a Aline Alves Ramos

Resumo

A preocupação com os impactos ambientais causados pelos plásticos convencionais tem incentivado a busca por materiais biodegradáveis e sustentáveis para diferentes aplicações. Nesse contexto, este trabalho propôs o desenvolvimento de um filme inteligente biodegradável à base de amido de milho incorporado com o extrato da casca da batata-doce roxa (*Ipomoea batatas* L.), com potencial de aplicação no monitoramento da carne de frango. A metodologia consistiu na extração dos compostos bioativos presentes nas cascas da batata-doce roxa, sendo as antocianinas o composto de principal interesse neste estudo, e na produção dos filmes pelo método *Casting*. Posteriormente, os filmes foram avaliados quanto às suas características visuais e à sua resposta às alterações de pH, utilizando hidróxido de amônio e carne de frango como meios de teste. Após as análises, foi observada a mudança de coloração dos filmes para tons esverdeados nas condições avaliadas, além da obtenção de um material resistente e adequado para a aplicação proposta. Os resultados obtidos demonstraram potencial para o desenvolvimento de filmes inteligentes biodegradáveis voltados ao monitoramento de carnes brancas.

Palavras-chave: batata-doce roxa, antocianinas, filme inteligente, biodegradável, carnes brancas.

Abstract

Concern about the environmental impacts caused by conventional plastics has encouraged the search for biodegradable and sustainable materials for different applications. In this context, this work proposed the development of a biodegradable smart film based on corn starch incorporated with extract from the peel of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.), with potential application in monitoring chicken meat. The methodology consisted of extracting the bioactive compounds present in the peels of purple sweet potato, with anthocyanins being the compounds of main interest in this study, and producing the films using the casting method. Subsequently, the films were evaluated for their visual characteristics and their response to pH changes, using ammonium hydroxide and chicken meat as test media. After the analyses, a change in the color of the films to greenish tones was observed under the evaluated conditions, in addition to obtaining a resistant material suitable for the proposed application. The results obtained demonstrated potential for the development of biodegradable smart films aimed at monitoring white meats.

Keywords: purple sweet potato, anthocyanins, smart film, biodegradable, white meats.

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correia s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil * dezottigabi@gmail.com
Recebido em: 22/06/2026
Apresentado à banca em: 26/06/2026

1 Introdução

O aumento da demanda por alimentos, aliado aos atuais padrões de consumo, tem intensificado desafios relacionados à segurança alimentar e à sustentabilidade em escala global. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), cerca de 14% dos alimentos são perdidos ao longo da cadeia produtiva antes mesmo de chegarem aos mercados varejistas. Além disso, pelo lado do varejo e do consumo, estima-se que aproximadamente 931 milhões de toneladas de alimentos, correspondendo a cerca de 17% do total disponível, foram desperdiçadas em 2019 em residências, supermercados, restaurantes e outros serviços alimentares, conforme dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente). Esse cenário evidencia a ineficiência dos sistemas de conservação e monitoramento da qualidade dos alimentos, sobretudo em produtos altamente perecíveis, como carnes. (Fao, 2019; Pnuma, 2021).

A aquisição de carnes e outros alimentos perecíveis em condições inadequadas de conservação representa uma preocupação para consumidores e para a indústria alimentícia, uma vez que processos de deterioração podem ocorrer durante o armazenamento e a comercialização, comprometendo a qualidade e a segurança do produto. Devido à elevada perecibilidade das carnes, o monitoramento de sua qualidade ao longo da cadeia produtiva é essencial, o que evidencia a necessidade de soluções tecnológicas mais eficientes (Procon-RJ 2025).

Durante o processo de deterioração da carne, ocorre a multiplicação de microrganismos deteriorantes, como espécies dos gêneros *Pseudomonas*, *Brochothrix* e membros da família

Enterobacteriaceae, que utilizam proteínas e aminoácidos presentes no alimento como fonte de nutrientes. Como consequência desse processo, são formados compostos voláteis de caráter básico, como amônia (NH_3) e aminas biogênicas, responsáveis pelo aumento do pH da carne. Dessa forma, a variação do pH está diretamente relacionada ao avanço da deterioração, podendo ser utilizada como um importante indicativo da perda de qualidade e da segurança microbiológica do alimento. Nesse contexto, materiais sensíveis às alterações de pH, como os filmes inteligentes incorporados com antocianinas, tornam-se uma alternativa promissora para o monitoramento visual do estado de conservação dos alimentos (Jay; Loessner; Golden, 2005; Kang; Kim; Yoon, 2026).

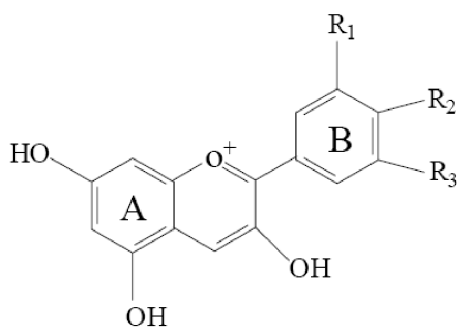
Nesse contexto, o uso de embalagens plásticas convencionais, como o polietileno (PE) e o policloreto de vinila (PVC), amplamente difundidas na indústria alimentícia devido à sua eficiência na proteção e integridade dos produtos, apresenta limitações quanto ao monitoramento da qualidade dos alimentos e a sustentabilidade ambiental, relacionadas à sua baixa biodegradabilidade e origem petroquímica, contribuindo para impactos ambientais significativos. Diante disso, destaca-se o desenvolvimento de alternativas inovadoras, como filmes biodegradáveis à base de biopolímeros, a exemplo do amido, que além de ser provenientes de fontes renováveis, permitem a incorporação de compostos bioativos, ampliando sua funcionalidade e potencial de aplicação na conservação de alimentos (Pelicioli, 2019).

Essa problemática está diretamente relacionada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas, especialmente o ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis, que incentiva a redução de resíduos e o uso de

materiais sustentáveis, o ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, que promove o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, e o ODS 3 – Saúde e Bem-Estar, ao contribuir para a segurança alimentar da população (ONU, 2015).

Nesse sentido, filmes inteligentes incorporados com compostos naturais, como as antocianinas cuja estrutura geral é representada na Figura 1, destacam-se como uma alternativa promissora, uma vez que esses pigmentos pertencentes à classe dos flavonoides encontrados em frutas e hortaliças são sensíveis às variações de pH, apresentando mudanças de cor que podem indicar o estado de deterioração dos alimentos, além de possuírem propriedades antioxidantes. (Embrapa, 1994; Le et al.; Bridgers; Chinn; Truong, 2010).

Figura 1: Estrutura geral das antocianinas



Fonte: LÓPEZ ET AL, 2000

A obtenção do composto da antocianina (Figura 1), a partir de resíduos agroindustriais, como a casca da batata-doce roxa (Figura 2), contribui ainda para a valorização de subprodutos e para a sustentabilidade dos processos produtivos devido a sua ampla adaptabilidade, elevada produção e grande relevância econômica e nutricional. Além disso, a variedade de polpa roxa destaca-se pelo alto teor desses pigmentos, os quais possuem propriedades funcionais, como ação antioxidante e antimicrobiana, e apresentam boa estabilidade frente a diferentes condições, como variações de pH e temperatura. Tais

características reforçam o potencial de aplicação dessas substâncias no desenvolvimento de filmes inteligentes biodegradáveis, capazes de indicar alterações na qualidade dos alimentos por meio da mudança de coloração (Carmona, 2015; Tong et al., 2020; Ding et al., 2020; Wang et al., 2020).

Figura 2: Batata-doce roxa



Fonte: Embrapa, 2021

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um filme inteligente à base de amido e extrato da casca de batata-doce roxa (*Ipomoea batatas* L.) aplicado ao monitoramento de alimentos, utilizando carne de frango como modelo para avaliação de sua eficiência como indicador de qualidade.

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

Reagentes	Fórmula Molecular
Água destilada (líquida)	H ₂ O
Ácido Clorídrico 0,1 mol L ⁻¹ (aquoso)	HCl

Hidróxido de Amônio (1%, aquoso)	NH_4OH
Glicerol (líquido)	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
Amido de Milho (sólido)	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$
Álcool 96% (líquido)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Hidróxido de sódio (0,1 mol L ⁻¹ , aquoso)	NaOH

Fonte: do próprio autor, 2026.

As cascas de batata-doce roxa (*Ipomoea batatas* L.) foram adquiridas de produção agrícola familiar Chácara Cassiano & Lopes, localizada no município de São Paulo, Brasil. O amido foi adquirido no estabelecimento Alvaro Mercado São Paulo, Brasil.

Para a realização das análises, foram utilizados os seguintes equipamentos: balança analítica modelo AG-200, chapa de aquecimento, estufa (Novatecnica®), capela de exaustão (Quimis®) e capela de fluxo laminar (Ideoxima®).

Para a realização das análises, foram utilizadas as seguintes vidrarias: béqueres de 10 mL, 50 mL, 100 mL e 600 mL, placa de Petri, bagueta, pipeta automática, suporte universal com garras e almofariz com pistilo.

Foram preparados três lotes do extrato da casca de batata-doce roxa com o objetivo de garantir maior confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos. O primeiro lote foi produzido a partir de uma remessa de batata-doce roxa, enquanto os lotes 2 e 3 foram preparados utilizando cascas provenientes da mesma remessa. Todas as análises foram realizadas em triplicata, proporcionando maior precisão experimental e possibilitando a avaliação da variabilidade dos resultados.

2.2 Métodos

2.2.1 Preparo das cascas da batata-doce roxa

Foram selecionadas aproximadamente 9 batatas-doces roxas (*Ipomoea batatas* L.). Inicialmente, as amostras passaram por um processo de higienização em água corrente para remoção de impurezas superficiais.

Em seguida, foi realizada a remoção das cascas com auxílio de um descascador de aço inoxidável preservando espessura inferior a 1 mm. Posteriormente, foram selecionadas as cascas que apresentavam uniformidade de coloração e ausência de danos visíveis e de sinais de deterioração. As amostras selecionadas foram fracionadas em 12 placas de Petri, contendo 3,7 g de casca cada, e submetidas à secagem em estufa a 40 °C por 24 horas.

2.2.2 Preparo do pó de batata-doce roxa

O preparo do pó das cascas de batata-doce roxa (*Ipomoea batatas* L.) foi realizado conforme metodologia adaptada de Capello et al.(2019) para este trabalho. Conforme a etapa anterior, as cascas foram submetidas à secagem em estufa a 40 °C por 24 horas.

Em seguida, as amostras foram trituradas manualmente em almofariz com auxílio de pistilo até a obtenção de pó fino. Posteriormente, o material obtido foi peneirado utilizando uma peneira de plástico de cozinha disponível no laboratório, com abertura de malha estimada em aproximadamente 1 mm, visando à padronização do tamanho das partículas. Após esse procedimento, o material obtido foi armazenado em frasco âmbar, sob refrigeração e protegido da luz.

2.2.3 Produção do filme inteligente

Os filmes foram desenvolvidos a partir da técnica de *casting*, seguindo o procedimento adaptado por Silva (2022). Essa técnica foi escolhida por ser amplamente utilizada na produção de filmes biodegradáveis em pesquisas laboratoriais, pois permite obter filmes mais uniformes e facilita a incorporação de compostos bioativos, como as antocianinas (Suhag et al., 2022).

Os reagentes e a quantidade utilizada na produção do filme estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 : Reagentes e respectivas proporções

Reagentes	Quantidades
Amido	5 g
Água destilada	70 ml
Extrato	0,8 g
Glicerina	2 ml

Fonte: do próprio autor, 2026.

Inicialmente, foi montado um sistema de aquecimento em banho-maria para o preparo da solução filmogênica, de modo que o aquecimento ocorresse de forma indireta. Após o aquecimento da água e os reagentes devidamente pesados, foram adicionados 50 mL de água destilada ao béquer de 100 mL, seguidos da adição gradual do amido, sob agitação constante, até sua completa dissolução.

Posteriormente, adicionou-se os 2 ml de glicerina, juntamente com o 0,8 g do extrato da casca da batata-doce roxa, mantendo-se a homogeneização da mistura. Ao final do processo, a chapa de aquecimento foi desligada e adicionou-se água destilada até completar o volume final de 70 mL. Em seguida, a solução filmogênica dos lotes 2 e 3 foi distribuída em nove

placas de Petri previamente limpas e pesadas em balança analítica, visando à padronização da massa de solução depositada. Para o lote 1, a solução filmogênica foi distribuída em quatro bandejas de isopor, também previamente pesadas. Ao todo, foram utilizadas 18 placas de Petri e quatro bandejas de isopor. O processo de secagem foi realizado durante quatro dias. O lote 1 foi seco em temperatura ambiente, enquanto os lotes 2 e 3 foram submetidos à secagem em capela de fluxo laminar.

Para avaliar a viabilidade de aplicação do filme inteligente desenvolvido, foram realizados ensaios de caracterização física, química e funcional do material obtido. Após a secagem, uma placa de cada lote e bandeja foram destinadas à realização de cada ensaio, sendo os filmes removidos das placas e cortados em dimensões padronizadas de 5 × 5 cm para obtenção dos corpos de prova. Cada filme foi então fracionado em três corpos de prova, utilizados como réplicas experimentais nas análises. Em seguida, foram conduzidos ensaios para determinar propriedades do material, como teor de umidade, biodegradabilidade e potencial de aplicação no monitoramento da qualidade da carne de frango.

2.2.4 Caracterização dos filmes

A caracterização dos filmes foi realizada por meio da análise visual do pó obtido a partir da casca da batata-doce roxa, com o objetivo de observar suas características físicas e coloração, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Pó da casca da batata-doce roxa



Fonte: do próprio autor, 2026.

Análise de características visuais dos filmes

A aparência dos filmes foi analisada por meio de avaliações visuais e táteis, observando-se características relacionadas à uniformidade, coloração e integridade da superfície. Além disso, verificou-se a ausência de defeitos estruturais, como bolhas, fissuras, partículas não dissolvidas e porosidades abertas, fatores que podem comprometer a qualidade do material (Henrique et al., 2008).

Determinação da solubilidade em água

A determinação da solubilidade em água foi realizada conforme o método proposto por Costa (2017), com adaptações. Amostras com área aproximada de 5 cm² foram pesadas para determinação da massa inicial e, posteriormente, imersas em 100 mL de água destilada à temperatura ambiente. As amostras permaneceram em estufa de controle biológico a 25 °C durante 24 horas.

Decorrido o tempo de imersão, os filmes foram retirados da solução com auxílio de uma pinça de metal e, caso houvesse resíduos do plástico, estes foram colocados em estufa a 110°C por 1 hora. Foi medida a massa final e

determinado o teor de solubilidade dos filmes por meio da perda de massa. O cálculo foi realizado utilizando a Fórmula 1, na qual a porcentagem de perda de massa corresponde à diferença entre a massa inicial (m_1) e a massa final (m_2), dividida pela massa inicial (m_1) e multiplicada por 100.

$$\% \text{Perda de massa} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Determinação teor de umidade

A determinação da umidade dos filmes foi realizada pelo método gravimétrico, conforme descrito por Mahmoud (1992). Inicialmente, as amostras foram pesadas e, posteriormente, submetidas à secagem em estufa a 105 °C até atingirem massa constante.

Após a secagem das amostras, o teor de umidade foi determinado utilizando a Fórmula 2. O cálculo foi realizado por meio da diferença entre a massa inicial (m_1) e a massa final (m_2) das amostras, dividida pela massa inicial (m_1) e multiplicada por 100, permitindo expressar os resultados em porcentagem, conforme a metodologia descrita por Silva (2011).

$$\text{TU (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (\text{Fórmula 2})$$

Análise da Gramatura

A gramatura dos filmes foi determinada conforme a metodologia descrita por Ferreira (2024). Inicialmente, as amostras foram pesadas em balança analítica para obtenção da massa (m) e suas dimensões foram medidas com auxílio de uma régua para o cálculo da área (A). Em seguida, a gramatura foi calculada de acordo com a Fórmula 3, utilizando a relação entre a massa da amostra e sua área superficial.

$$\text{Gramatura} = \frac{m}{A} \quad (\text{Fórmula 3})$$

Biodegradabilidade do filme

Foram adicionados aproximadamente 30 g de terra adubada em recipientes de polipropileno, nos quais os corpos de prova (5 cm²), previamente pesados e padronizados quanto à área e gramatura, foram acondicionados. Em seguida, os filmes foram recobertos com outra camada de solo, mantendo-se a umidade por meio de pulverizações periódicas de água em condições ambientais de temperatura e pressão. Após 15 dias de exposição ao solo, as amostras foram cuidadosamente retiradas, sendo a terra residual removida com leves pinceladas. Em seguida, foi determinada a massa final de cada amostra, conforme metodologia descrita por Bona et al (2007).

A biodegradabilidade dos filmes foi calculada utilizando a Fórmula 4. O cálculo foi realizado por meio da diferença entre a massa inicial (m_1) e a massa final (m_2), dividida pela massa inicial (m_1) e multiplicada por 100, permitindo determinar a porcentagem de massa degradada ao longo do período de exposição ao solo.

$$\text{Biodegradabilidade\%} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \text{ (Fórmula 4)}$$

Escala de pH

Para o preparo do indicador, foram utilizados 2 mL de álcool etílico 96% e 0,2 g do pó da casca de batata-doce roxa, sendo a mistura homogeneizada até a obtenção do extrato indicador. Em seguida, o indicador obtido foi utilizado para avaliar sua resposta em diferentes faixas de pH.

Nesse procedimento, foram preparadas soluções 0,1 mol·L⁻¹ de ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH), correspondentes aos extremos ácido e básico da escala de pH. Em seguida, quatorze tubos de ensaio foram numerados de 1 a 14. Nos tubos de 1 a 6, adicionou-se a solução de

HCl, sendo o tubo 1 preenchido com a solução original e os demais submetidos a diluições sucessivas, transferindo-se 1 mL da solução de um tubo para o seguinte, a fim de obter valores de pH progressivamente maiores. De maneira análoga, nos tubos de 8 a 14 foram realizadas diluições sucessivas da solução de NaOH, obtendo-se valores de pH progressivamente menores. O tubo 7 foi preenchido com 10 mL de água destilada, representando o pH neutro, não sendo necessária a realização de diluições. Por fim, foram adicionadas cinco gotas do indicador em cada tubo, possibilitando a observação das alterações de coloração em função das diferentes faixas de pH (Gomes- Junior; Paro, 2025).

Análise Colorimétrica

A alteração de cor dos filmes foi analisada conforme a metodologia adaptada descrita por Arenas (2012). Para avaliar a resposta colorimétrica dos filmes em meio alcalino, os corpos de prova foram expostos aos vapores de uma solução de hidróxido de amônio a 1%.

Para o ensaio, a solução foi acondicionada em um bquer de 10 mL, posteriormente vedado com o filme, permitindo que os vapores liberados entrassem em contato com a superfície da amostra. A mudança de coloração foi acompanhada visualmente, utilizando-se como comparação o filme sem exposição à solução.

Teste de aplicação

O teste de aplicação foi realizado com base na metodologia descrita por Ferreira et al. (2024), com adaptações. Para o ensaio, foram utilizados béqueres com capacidade de 10 mL, nos quais foram adicionados aproximadamente 1 g de carne de frango. Em seguida, cada bquer foi vedado com uma amostra do filme inteligente proveniente de cada lote, sendo fixado com o auxílio de um

elástico para garantir a estabilidade do sistema e minimizar as trocas gasosas com o meio externo.

Posteriormente, os sistemas foram armazenados sob duas condições de armazenamento: sob refrigeração, em geladeira localizada no laboratório, e em temperatura ambiente. As amostras foram monitoradas diariamente durante um período de 17 dias. A avaliação consistiu na observação e no registro das alterações de coloração apresentadas pelos filmes ao longo do tempo, associadas às variações de pH resultantes do processo de deterioração da carne. Dessa forma, foi possível acompanhar indiretamente o estado de conservação do alimento por meio da resposta colorimétrica dos filmes inteligentes, avaliando sua potencial aplicação como indicadores visuais de frescor.

3 Resultados e Discussão

3.1 Análise da características visuais dos filmes

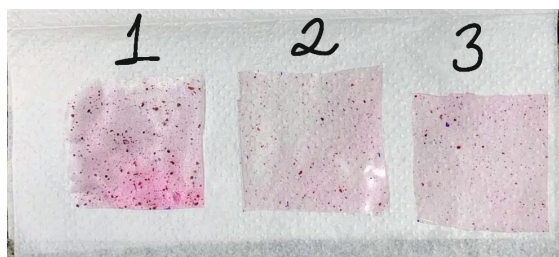
Após a trituração das cascas secas da batata-doce roxa em almofariz, foi obtido aproximadamente 0,8 g de material seco de coloração rosa intenso. Essa coloração sugere a presença de antocianinas, pigmentos naturais da casca da batata-doce roxa, pertencentes à classe dos flavonoides e responsáveis pela coloração característica da batata-doce roxa. Segundo Lopes et al. (2007), as antocianinas são responsáveis por tonalidades que variam do vermelho ao azul em diversos frutos e hortaliças, sendo amplamente estudadas devido à sua estabilidade em determinadas condições de processamento. Dessa forma, a coloração observada no material obtido é compatível com a presença desses pigmentos, conforme apresentado na Figura 3.

Os filmes obtidos a partir dos lotes 2 e 3 foram secos em capela de fluxo laminar, utilizando

placas de Petri como suporte, enquanto o lote 1 foi seco em temperatura ambiente, utilizando bandejas de isopor. Essas diferenças nas condições e nos recipientes de secagem permitiram avaliar a influência desses fatores sobre as características finais dos filmes. Após a secagem, os filmes foram removidos dos respectivos suportes para avaliação visual. De modo geral, apresentaram ausência de bolhas e fissuras, além de comportamento flexível durante o manuseio. Também foram observadas partículas insolúveis da casca de batata-doce roxa dispersas na matriz polimérica, decorrentes da incorporação do material vegetal na forma de pó.

A incorporação da casca de batata-doce roxa na forma de pó foi escolhida por permitir a adição do material vegetal sem promover a diluição dos compostos bioativos presentes. A utilização desses compostos em solução líquida poderia reduzir sua concentração na matriz polimérica, comprometendo propriedades importantes do filme, especialmente sua capacidade de atuar como indicador de alterações relacionadas à deterioração de alimentos.

Em relação ao aspecto visual expressos na Figura 4, os filmes dos lotes 1, 2 e 3, apresentados nesta sequência, evidenciaram diferenças de translucidez. Os filmes dos lotes 2 e 3 apresentaram maior translucidez, enquanto o lote 1 exibiu característica mais opaca, demonstrando que as diferentes condições de secagem influenciam a aparência final dos filmes.

Figura 4: Resultado da produção do filme

Fonte:do próprio autor, 2026.

3.2 Determinação da solubilidade em água

Os resultados referentes à determinação da solubilidade dos filmes em água estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Teor de solubilidade dos filmes

Lote	Média $\pm$ DP %	Incerteza
1°	47,19 $\pm$ 9,52 %	$\pm$ 5,50 %
2°	39,72 $\pm$ 7,87 %	$\pm$ 4,54 %
3°	45,39 $\pm$ 6,73 %	$\pm$ 3,89 %

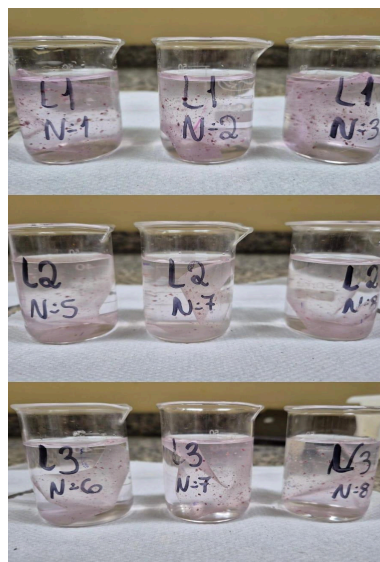
Fonte:do próprio autor,2026

Os valores obtidos indicam que os filmes possuem uma fração significativa capaz de se dissolver em água, comportamento esperado para materiais à base de amido (Bona, 2007). A solubilidade observada está relacionada à interação entre as moléculas do polímero e a água, favorecida pela presença de grupos hidrofílicos na matriz do filme (Henrique; Cereda; Sarmento, 2008). Além disso, a incorporação das antocianinas da batata-doce roxa pode contribuir para a afinidade do material com o meio aquoso devido à presença de grupos hidroxila em sua estrutura química (Giusti; Wrolstad, 2001).

Esse comportamento pode ser considerado adequado para a proposta do trabalho, já que filmes destinados ao monitoramento de alimentos precisam apresentar interação com o meio, permitindo resposta às variações associadas à deterioração. Por outro lado, essa característica

indica limitação para aplicações em contato direto e prolongado com água.

Conforme apresentado na Figura 5, são mostradas as condições dos filmes após o teste, possibilitando uma análise complementar dos resultados apresentados na Tabela 3.

Figura 5: Teor de solubilidade

Fonte:do próprio autor, 2026.

3.3 Determinação do teor de umidade

Os resultados referentes à determinação do teor de umidade estão apresentados na Tabela 4

Tabela 4: Teor de umidade

Lote	Média do Lote (%)
1°	25,83 %
2°	33,83 %
3°	24,19%
Média geral $\pm$ DP	27,95 $\pm$ 5,20

Fonte:do próprio autor,2026

A análise dos dados revela variações quantitativas entre os lotes avaliados. O lote 2 apresentou o maior teor médio de umidade (33,83%), indicando uma maior retenção de água ou menor extensão de secagem em comparação

aos demais. Em contrapartida, o lote 1 e o lote 3 exibiram valores médios mais baixos e próximos entre si, fixando-se em 25,83% e 24,19%, respectivamente.

Apesar da proximidade entre as médias dos lotes 1 e 3, observou-se uma oscilação interna importante nos resultados do lote 3. Essa variação foi provocada predominantemente pelo resultado da segunda repetição (16,06%), que se distanciou significativamente dos valores encontrados nas repetições 1 (30,09%) e 3 (27,30%). Essa flutuação pontual pode estar associada a fatores experimentais isolados, tais como a falta de homogeneidade física da porção amostrada, variações na circulação de calor na estufa ou à absorção de umidade pelo material durante o processo de pesagem, fatores que podem influenciar diretamente os resultados de filmes biodegradáveis à base de amido (Henrique; Cereda; Sarmento, 2008).

De forma geral, com exceção da segunda réplica do lote 3, os valores obtidos nas demais repetições demonstraram boa concordância entre si, fornecendo parâmetros importantes para a caracterização e o controle de qualidade do material estudado.

3.4 Análise da Gramatura

A gramatura dos filmes é definida pela razão massa por área da amostra e está diretamente relacionada às propriedades mecânicas. Assim, filmes com gramaturas mais altas tendem a apresentar melhor resistência, características importantes quando empregados para alimentos suscetíveis a danos durante a manipulação (Almeida et al.2013).

Tabela 5: Gramatura

Lotes	1°	2°	3°
Gramatura	0,022 g.cm²	0,012 g.cm²	0,011 g.cm²

Fonte:do próprio autor, 2026.

Observou-se que o lote 1 apresentou a maior gramatura, sugerindo maior quantidade de material por unidade de área em comparação aos demais filmes. Em contrapartida, os lotes 2 e 3 apresentaram valores semelhantes entre si. Essas diferenças podem estar relacionadas às distintas condições de preparação dos filmes, especialmente ao uso de diferentes recipientes durante a etapa de formação, o que pode ter influenciado a espessura e, conseqüentemente, a massa por unidade de área das amostras.

3.5 Biodegradabilidade do filme

O lote 1 apresentou um comportamento distinto em relação aos demais, sendo o único a não atingir degradação total ao final do período de 15 dias. A análise indicou um percentual de biodegradação de 68,78%, evidenciando que aproximadamente um terço do material ainda não havia sido completamente convertido pela ação dos microrganismos presentes no solo (Pelicioli, 2019).

A presença de resíduos visíveis desse lote confirma uma taxa de degradação mais lenta quando comparada aos lotes 2 e 3, os quais foram completamente degradados nas mesmas condições experimentais. Esse comportamento pode estar relacionado à gramatura do filme, menor porosidade ou diferenças na interação com a umidade do solo, fatores que podem dificultar a atuação microbiana (Bona, 2007; Pelicioli, 2019).

De forma geral, embora o lote 1 ter apresentado biodegradação parcial (68,78%), o resultado ainda indica um comportamento biodegradável do material, uma vez que houve significativa redução da massa e integridade do filme ao longo do período avaliado, conforme a representado na Figura 6 (Henrique; Cereda; Sarmento, 2008). Contudo, observa-se que um

tempo adicional de exposição ao solo poderia favorecer a degradação completa desse lote, alinhando seu comportamento ao observado nos demais tratamentos.

Figura 6: Biodegradabilidade do lote 1

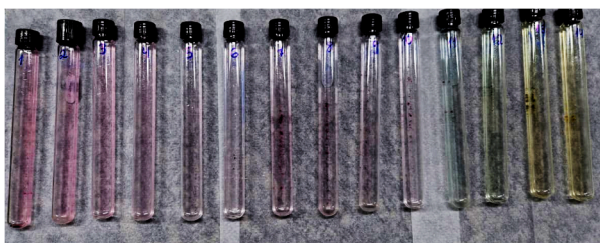


Fonte do próprio autor, 2026.

3.6 Escala de pH

A partir do procedimento de diluições sucessivas das soluções de ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH), construiu-se uma escala cromática correspondente aos valores progressivos de pH (de 1 a 14), utilizando como indicador o extrato seco da casca da batata-doce roxa. O comportamento desse indicador natural frente às diferentes concentrações hidrogeniônicas e hidroxilônicas está ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Escala cromática da variação de pH



Fonte: do próprio autor, 2026.

A análise visual dos quatorze tubos de ensaio revelou um perfil de viragem cromática bem definido, característico de matrizes vegetais ricas em antocianinas. O comportamento do extrato ao

longo da escala de pH pôde ser mapeado em três zonas principais:

- Zona ácida (tubos 1 a 4): Nos tubos com maior concentração de HCl (pH fortemente ácido), o extrato exibiu coloração rosa intensa. Esse comportamento decorre da estabilização da antocianina na forma de cátion flavílio, responsável pela absorção de luz na região do verde e pela reflexão dos tons avermelhados e róseos, característica típica dessas estruturas em meio ácido (Giusti; Wrolstad, 2001). Com o aumento do pH em direção ao tubo 4, nota-se uma sutil atenuação dessa intensidade.
- Zona de transição e neutralidade (tubos 5 a 10): À medida que a acidez diminui e se aproxima da neutralidade (tubo 7, preenchido com água destilada) e do início da faixa básica (tubos 8 a 10), ocorreu a perda de coloração, tornando a solução virtualmente incolor. Quimicamente, essa transição indica a desprotonação do cátion flavílio e a formação equilibrada de estruturas pseudo-bases carbinol ou chalconas, que não apresentam coloração visível expressiva sob estas condições (Guimarães et al, 2019).
- Zona básica (tubos 11 a 14): Com o incremento da alcalinidade promovido pelas diluições de NaOH, o meio induziu uma nova mudança estrutural no indicador. Nos tubos de maior pH (especialmente 13 e 14), as antocianinas assumem a forma de bases anidras ionizadas ou chalconas estáveis em meio alcalino, manifestando uma nítida coloração amarelada. (Giusti; Wrolstad, 2001).

Os resultados obtidos demonstram que o extrato seco da casca da batata-doce roxa atua como um indicador universal natural eficiente, validando o método adaptado de Gomes-Junior e Paro (2025). A nítida diferença trifásica (rosa > incolor > amarelo) evidencia o potencial dessa matriz orgânica como uma alternativa sustentável e de baixo custo.

3.7 Análise Colorimétrica

A análise colorimétrica foi realizada para verificar a sensibilidade do filme às alterações de pH, como uma simulação para a aplicação no frango. Inicialmente, os filmes apresentavam coloração rosa-claro. Após a exposição aos vapores de hidróxido de amônio (NH_4OH), foi observada uma mudança visível para tons esverdeados em todas as amostras produzidas. O primeiro lote apresentou alteração de cor após aproximadamente 8 minutos de exposição, enquanto os filmes do segundo e terceiro lote, apresentaram a mudança em cerca de 5 minutos. Além de ocorrer de forma rápida, a alteração foi facilmente perceptível visualmente, demonstrando a capacidade de resposta do filme frente às condições alcalinas.

Esse comportamento pode ser atribuído à presença de antocianinas extraídas da casca da batata-doce roxa, pigmentos sensíveis às variações de pH, responsáveis pelas mudanças estruturais e, consequentemente, de coloração. Durante o ensaio, também foi observado que os filmes permaneceram íntegros, sem apresentar rupturas ou alterações significativas em sua estrutura física como demonstrado na Figura 8 (GIUSTI; WROLSTAD, 2001).

Figura 8: Resultado da análise colorimétrica



Fonte: do próprio autor, 2026.

Conforme observado na Figura 8, os resultados obtidos evidenciam que o filme desenvolvido foi capaz de responder de forma eficiente às variações do meio por meio de mudanças de coloração, demonstrando seu potencial de aplicação como indicador visual de pH em sistemas alimentares.

3.8 Teste de aplicação

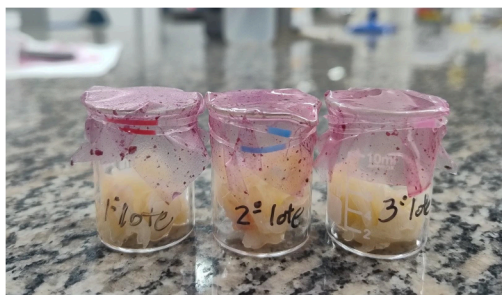
O teste de aplicação foi realizado utilizando peito de frango cru acondicionado em um bquer vedado com o filme inteligente, de forma que o filme atuou como uma embalagem secundária, sem contato direto com o alimento, permitindo apenas a interação com os compostos voláteis liberados durante o processo de armazenamento.

Após o período de armazenamento, observou-se que o filme inteligente utilizado nas amostras mantidas sob refrigeração não apresentou alterações visíveis de coloração. Esse comportamento pode ser explicado pela redução da atividade microbiana em baixas temperaturas, o que retarda a degradação das proteínas da carne e, consequentemente, a formação de compostos voláteis capazes de promover alterações no pH do sistema. Em contrapartida, as amostras armazenadas em temperatura ambiente apresentaram mudança de cor no filme ao longo dos dias de análise, indicando o avanço do processo de deterioração.

De acordo com Galarz (2008), o aumento da temperatura favorece a multiplicação de microrganismos deteriorantes em peito de frango, reduzindo sua vida útil. Dessa forma, a alteração observada no filme em temperatura ambiente pode estar relacionada à maior produção de metabólitos provenientes da atividade microbiana, evidenciando o potencial do material como indicador da qualidade do alimento.

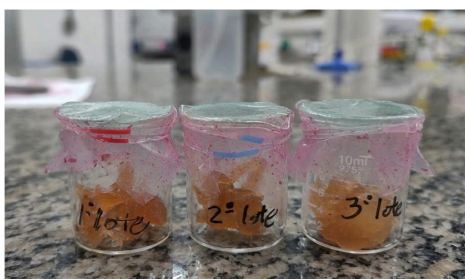
As figuras 9, 10 e 11 ilustram o comportamento do filme inteligente durante o teste de aplicação com peito de frango armazenado em diferentes condições.

Figura 9: Início do teste de aplicação



Fonte: do próprio autor, 2026.

Figura 10: Resultado do teste em temperatura ambiente



Fonte: do próprio autor, 2026.

Figura 11: Resultado do teste em refrigeração



Fonte: do próprio autor, 2026.

De forma geral, os resultados mostraram que os filmes apresentaram boa formação, sem defeitos visíveis e com características compatíveis com materiais à base de amido. Houve variações entre os lotes nos testes de solubilidade, umidade e

gramatura, relacionadas às condições de preparo. Também foi confirmado o caráter biodegradável do material, além de sua sensibilidade às variações de pH, apresentando mudança visível entre os valores de pH 8 e 9 resultado semelhante ao descrito por Moraes Góes et al.(2022). Em conjunto, os resultados indicam que o filme tem potencial como material biodegradável e monitoramento da qualidade da carne de frango..

Esses resultados sugerem que a alteração de coloração do filme está associada às modificações estruturais das antocianinas provocadas pelas variações de pH do meio. Segundo Quina (2009), esses pigmentos naturais apresentam diferentes formas químicas em equilíbrio, cuja predominância depende das condições do ambiente, principalmente do pH. Dessa forma, há uma possibilidade de que a coloração pode ser restabelecida quando as condições do meio retornam ao estado inicial, desde que não ocorra degradação das antocianinas.

No entanto, fatores como exposição prolongada à luz, ao oxigênio, a temperaturas elevadas e a valores extremos de pH podem comprometer a estabilidade do pigmento e limitar essa reversibilidade. Como esse comportamento não foi investigado no presente estudo, não é possível afirmar experimentalmente a ocorrência do retorno da coloração, sendo essa uma possibilidade a ser explorada em pesquisas futuras (QUINA, 2009; LOPES et al., 2007).

Dessa forma o filme inteligente desenvolvido atua como um indicador de frescor, sendo sua resposta baseada

principalmente na detecção de compostos voláteis formados durante o processo de deterioração, especialmente aqueles de caráter básico, como amônia e aminas, que estão associados à degradação de proteínas. Dessa forma, a alteração de cor observada no material apresenta correlação com o avanço do processo de deterioração e com parâmetros amplamente utilizados na avaliação da qualidade de alimentos, como o nitrogênio básico volátil total (TVB-N). No entanto, trata-se de um método indicativo e complementar, não sendo suficiente, isoladamente, para garantir a segurança alimentar, uma vez que a presença de microrganismos patogênicos pode ocorrer antes de alterações visíveis no indicador.

Além disso, considerando que o mecanismo de funcionamento do filme está relacionado à sensibilidade dos compostos pigmentares às variações de pH, sua aplicação também pode ser estendida a alimentos que apresentam acidificação durante o processo de deterioração, como produtos lácteos. Nesses casos, a redução do pH decorrente da produção de ácidos orgânicos, como o ácido láctico, também pode promover alterações cromáticas no material. Entretanto, sua aplicação para esse tipo de alimento requer validação específica, uma vez que os mecanismos de deterioração diferem daqueles observados em produtos cárneos, nos quais predominam compostos de caráter básico (Bezerra et.al,2024).

4 Considerações Finais

O presente estudo demonstrou que o filme indicador à base de amido de milho e extrato da casca da batata-doce roxa apresentou potencial para o monitoramento da qualidade de carne de frango, por meio da alteração de coloração observada durante os testes realizados.

A sensibilidade do filme às variações de pH foi evidenciada pela mudança de cor na presença de vapores de hidróxido de amônio e durante o teste de aplicação com peito de frango. Esses resultados indicam que o material responde de forma eficiente a compostos associados à degradação proteica, permitindo seu uso como indicativo visual de alterações na qualidade do alimento.

Além disso, os ensaios realizados demonstraram o caráter biodegradável do material, bem como sua capacidade de manter a integridade física durante as análises, o que reforça sua aplicabilidade como embalagem ativa e sustentável.

De forma geral, os resultados obtidos indicam que a utilização de antocianinas extraídas da casca da batata-doce roxa representa uma alternativa promissora para o desenvolvimento de filmes inteligentes biodegradáveis, aliando o reaproveitamento de resíduos agroindustriais ao monitoramento visual da qualidade de alimentos.

5 Perspectivas

Apesar dos resultados promissores, o estudo apresenta limitações, como o tempo restrito de avaliação da biodegradabilidade e a necessidade de testes em diferentes condições ambientais para melhor compreensão do desempenho do material. Além disso, ressalta-se que análises complementares poderiam contribuir para uma caracterização mais aprofundada das

propriedades físico-químicas do filme ao longo do tempo.

O filme desenvolvido apresenta potencial para aplicação como alternativa sustentável em embalagens ativas para o monitoramento da qualidade de alimentos, especialmente carne de frango refrigerada. No entanto, sua utilização ainda apresenta limitações, sendo necessários estudos e testes adicionais em diferentes condições para confirmar sua eficácia e ampliar sua aplicabilidade.

Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo de sua estabilidade ao longo do tempo e a incorporação de outros extratos naturais com potencial indicativo, visando aprimorar sua sensibilidade e aplicabilidade industrial.

6 Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, por ser nossa fortaleza nesta jornada. À nossa orientadora, Prof^a. Esp. Thais Taciano dos Santos, pela dedicação e condução desde o PTCC, e à coorientadora, Prof^a. Dr^a. Aline Alves Ramos, pelo apoio, confiança e incentivo fundamentais. À ETEC Irmã Agostina, pela infraestrutura disponibilizada. Às integrantes do grupo, pela parceria, resiliência e por cada conversa que nos permitiu evoluir e aperfeiçoar este projeto juntas. Por fim, expressamos nossa gratidão às nossas famílias e amigos, por todo o suporte e carinho.

Referências

ALMEIDA, D. M. et al. Propriedades físicas, químicas e de barreira em filmes formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata. *Polímeros*, v. 23, p. 538-546, 2013.

ARENAS, Z.; MARIA, A. *Filme biodegradável à base de fécula de mandioca como potencial*

indicador de mudança de pH. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ARRUDA, Mirela Ribeiro Embirassú; BARBOSA, Elaine Karine da Silva; SILVA, Carla Fabiana da; VIEIRA, Glória Maria Vinhas. Avaliação de extratos de antocianinas como indicadores de pH obtidos por diferentes métodos. *Brazilian Journal of Food Research*, Campo Mourão, 2019.

BEZERRA, A. C.; LOPEZ, A. M. Q.; SANTOS, A. M. P. Filmes biopoliméricos biodegradáveis inteligentes e ativos contendo antocianinas: uma revisão. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2024.

BONA, J. C. *Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de blendas de amido com polietileno*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

CAPELLO, Cristiane et al. Adsorption and desorption of eggplant peel anthocyanins on a synthetic layered silicate. *Journal of Food Engineering*, 2019.

CARMONA, P. A. O. *Produção e caracterização da batata-doce*. 2015.

COSTA, D. M. A. et al. Desenvolvimento e caracterização de filmes à base de amido de feijão macáçar (*Vigna unguiculata* (L.) Wap). *Holos*, v. 7, p. 2-16, 2017.

EMBRAPA. *Batata-doce de polpa roxa BRS Cotinga*. Brasília, DF, 2021.

FERREIRA, Camilly Miranda et al. *Filme biodegradável de amido funcionalizado com indicador de pH*. São Paulo: Etec Irmã Agostina, 2024.

GALARZ, Liane Aldrighi. *Estimativa da vida útil em peito de frango em diferentes temperaturas de armazenamento*. 2008. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2008.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. In: WROLSTAD, R. E. (ed.). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York: John Wiley & Sons, 2001.

GOMES-JUNIOR, Paulo Cardoso; PARO, Renata Martins dos Santos. Indicadores ácido-base de extratos naturais: uma proposta experimental para o ensino de Química. *Química Nova na Escola*, v. 47, n. 2, p. 1-6, 2025.

GUIMARÃES, W.; ALVES, M. I. R.; ANTONIOSI FILHO, N. R. Antocianinas em extratos vegetais: aplicação em titulação ácido-base e identificação via cromatografia líquida/espectrometria de massas. *Química Nova*, São Paulo, 2012.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 2008.

JAY, James M.; LOESSNER, Martin J.; GOLDEN, David A. *Modern Food Microbiology*. 7. ed. New York: Springer, 2005.

KERRY, Joseph P.; O'GRADY, Maria N.; HOGAN, Seamus A. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, v. 74, n. 1, p. 113-130, 2006.

LOPES, T. J.; XAVIER, M. F.; QUADRI, M. G. N.; QUADRI, M. B. Antocianinas: uma breve revisão

das características estruturais e da estabilidade. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 13, n. 3, p. 291-297, 2007.

MAHMOUD, R.; SAVELLO, P. A. Mechanical properties and water vapor transferability through whey protein films. *Journal of Dairy Science*, v. 75, n. 11, p. 942-946, 1992.

MORAES GÓES, M.; YAMASHITA, F.; CARVALHO, G. M. Desenvolvimento de filmes inteligentes de amido incorporados com antocianina. *Congresso Brasileiro de Química*, 2022.

PELICIOLO, M. *Desenvolvimento de filmes biodegradáveis à base de amido*. 2019.

PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente). *Food Waste Index Report*. 2021.

PROCON-RJ. *Mais de 70 quilos de alimentos impróprios para consumo são descartados em fiscalizações na Zona Sul, Zona Sudoeste, Zona Norte, Niterói e Nova Iguaçu*. Rio de Janeiro, 2025.

QUINA, F. H. Antocianinas: a (foto)química das cores de frutas e flores. *Química Nova na Escola*, São Paulo, 2009.

SILVA, Beatriz Cavalcanti et al. *Filme inteligente biodegradável à base de amido de batata inglesa com extrato de betainas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Química) – ETEC Irmã Agostina, São Paulo, 2022.

SUHAG, R.; KUMAR, N.; PETKOSKA, A. T.; et al. A Comprehensive Review of Biodegradable Polymer-Based Films and Coatings and Their Food Packaging Applications. *Materials*, v. 15, n. 17, p. 5899, 2022.