



FILME INTELIGENTE BIODEGRADÁVEL À BASE DE AMIDO DE BATATA INGLESA (*Solanum tuberosum*) COM EXTRATO DE BETANINAS

Beatriz Cavalcanti Silva¹

Claudia Leal Pereira¹

Izabella Lima da Silva¹

Nicole de Sousa Pereira¹

Victor Viana Santos¹

Orientadora: Prof^a Dra. Aline Alves Ramos¹

RESUMO

A preferência por polímeros sintéticos aumentou nos últimos anos devido sua alta durabilidade, suas diversas aplicabilidades e seu fácil processamento, em contrapartida houve uma crescente preocupação com a poluição causada por plásticos. Tendo isto em foco, este trabalho propôs o desenvolvimento de filmes biodegradáveis associados a propriedades inteligentes sensíveis a mudanças de pH. A metodologia seguida foi através da obtenção do extrato de betaninas e sua quantificação, de posse do extrato, foram produzidos os filmes de amido aditivados pelo método casting, os filmes foram caracterizados quanto às suas propriedades mecânicas, físico-químicas e mudança de cor. Após a caracterização dos filmes foi possível constatar como resultados a eficácia da extração das betaninas sem a adição de ácido ao meio, juntamente com a obtenção de resultados satisfatórios e promissores para serem aplicados como filmes biodegradáveis inteligentes para monitoramento de alterações de pH.

Palavras-chave: Beterraba, embalagem Inteligente, betanina, batata inglesa.

ABSTRACT

The preference for synthetic polymers has increased in recent years due to their high durability, their diverse applicability and their easy processing, on the other hand there has been a growing concern about the pollution caused by plastics. With that in mind, this work proposed the development of biodegradable films associated with intelligent properties sensitive to pH changes. The methodology followed was through obtaining the betanin extract and its quantification, in possession of the extract, starch films were produced by the casting method, the films were characterized as to their mechanical, physical-chemical properties and color change. After characterizing the films, it was possible to verify the effectiveness of betanin extraction without adding acid to the medium, along with satisfactory and promising results to be applied as intelligent biodegradable films for monitoring pH changes.

Keywords: Beetroot, smart packaging, betanin, english potato.

¹Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Corrêa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
*e-mail: victorvianasantos04@gmail.com

Recebido em: 02/12/2022

Apresentado à banca em: 09/12/2022

1 INTRODUÇÃO

Há muito tempo os polímeros detêm um papel de grande importância na sociedade e na indústria de embalagens, sendo utilizados para revestir alimentos, em supermercados, feiras, hortifrúteis e em outros diversos setores. Só em 2020, de acordo com a ABRE (Associação Brasileira de Embalagens), estimava-se que o valor bruto da produção física de embalagens atingiria R\$92,9 bilhões, tendo um aumento de aproximadamente 22,3% em relação ao ano anterior. Sendo que o setor de embalagens plásticas mostrou uma maior participação nesse valor, correspondendo a 39,6% desse percentual.

A preferência por polímeros sintéticos se deve principalmente por sua alta durabilidade, suas diversas aplicabilidades e seu fácil processamento. Sendo que tal durabilidade é também uma grande desvantagem, uma vez que sendo um material hidrofóbico, o plástico diminui a ação de microrganismos, desempenhando assim um processo de decomposição lento. E como consequência, intensifica-se um problema que acompanha o homem contemporâneo: a grande quantidade de lixo produzido pelo mundo, principalmente dentro dos enormes centros urbanos. Esse lixo, que em grande parte é constituído por produtos industrializados feitos com polímeros sintéticos, pode levar até centenas de anos para se decompor, causando sérios problemas ambientais. (ROSA et al., 2002).

Um dos maiores colaboradores do grande volume de lixo gerado em todo o mundo são as embalagens, só na Europa são gerados mais de 67 milhões de resíduos, compreendendo um terço de todo o resíduo sólido domiciliar. Enquanto no Reino Unido, 3,2 milhões de toneladas de resíduos domésticos constituídos por embalagens são produzidos anualmente, correspondendo a mais de 12% do total de resíduos domésticos produzidos (WASTELINE, 2002 apud DAVIS e SONG 2006).

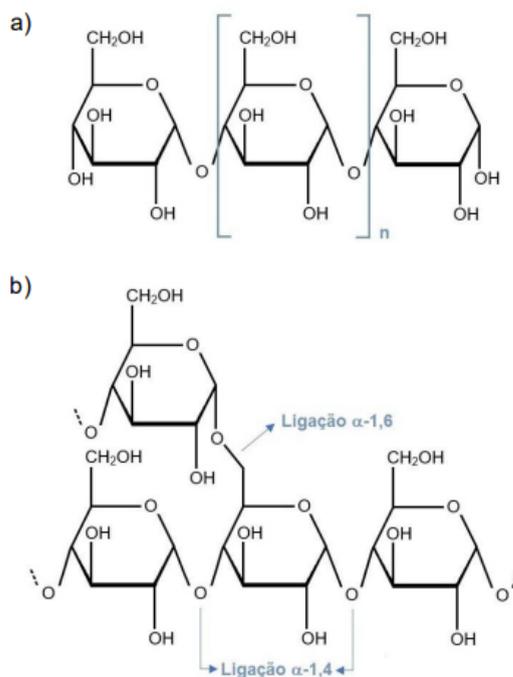
A utilização de embalagens visa às seguintes funções: o controle da transferência de umidade do produto para o ambiente, monitoramento de trocas gasosas, o controle da entrada de O₂ e retenção de aditivos químicos na superfície do produto e sua proteção, conservar o brilho e o aspecto saudável dos produtos (CHIUMARELLI; FERREIRA, 2006). A sociedade tem se mostrado cada vez mais envolta na discussão da segurança e qualidade dos alimentos dispostos em prateleiras e disponibilizados para consumo. Um dos grandes desafios enfrentados pela indústria alimentícia, é o desenvolvimento de materiais que não só protejam como também tenham a capacidade de interagir com os produtos, visando uma maior

garantia de qualidade, segurança e confiança do consumidor, além de um maior tempo de vida nas prateleiras (SILVA et al., 2015).

Nesse contexto, se iniciaram pesquisas sobre filmes biodegradáveis, como proteções biodegradáveis, que se colocavam como uma alternativa ecológica a embalagens convencionais, com excelentes características tecnológicas (KROTCHTA, 2002).

Plásticos originados de fontes renováveis visam a proteção e preservação do meio ambiente, além de serem uma alternativa para redução dos plásticos petroquímicos. Filmes biodegradáveis são constituídos por três componentes: um agente que vai formar o filme, um solvente e um plastificante. Os materiais a base de amido se destacam entre os materiais provenientes de fontes renováveis, uma vez que o amido, que é uma matéria-prima abundante, de baixo custo e com facilidade para se degradar, apresenta diversas possibilidades na alteração química ou física podendo produzir filmes que detenham uma melhor qualidade (DAVIS e SONG, 2006).

Figura 1: Fórmula molecular da amilose (a) e da amilopectina (b).



FONTE: BOTÃO, 2020

O amido é um polissacarídeo vegetal muito diversificado em termos de meios de obtenção, podendo assim ser obtido a partir de diversas

fontes renováveis, como os cereais, as raízes e os tubérculos, procedendo de diferentes fontes, como batata, milho, arroz, trigo e mandioca, utilizado na formulação de diversos produtos alimentícios (DAMODARAN; PARKIN, 2019). O amido ocorre na natureza na forma de grânulos, apresentando então um aspecto semicristalino, com grau de cristalinidade que podem variar de 20 a 45% (BEMILLER, 2019; DAMODARAN; PARKIN, 2019). O amido é formado por cadeias ramificadas e lineares de diversas moléculas de glicose, também nomeadas de amilopectina e amilose (CAMPBELL, 2000; LEHNINGER, 2006). A molécula de amilose é linear e contém algumas ramificações, à medida que a amilopectina é um polímero altamente ramificado, formado por cadeias curtas de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6, como mostrado na figura 1 (DONMEZ et al., 2021).

A predominância da amilose em amidos garante aos filmes características mais fortes e flexíveis, enquanto a estrutura ramificada da amilopectina normalmente gera a formação de filmes com propriedades mecânicas mais baixas, como pouca resistência ao alongamento (THARANATHAN, 2003). Em função disso os filmes constituídos exclusivamente de amidos se mostram quebradiços e pouco flexíveis quando comparados com os plásticos convencionais, problema esse que pode ser resolvido através da adição de plastificantes, sob condições específicas, como uma elevada temperatura, acabam por originar um material plástico deformável (BRIZOLA, 2013).

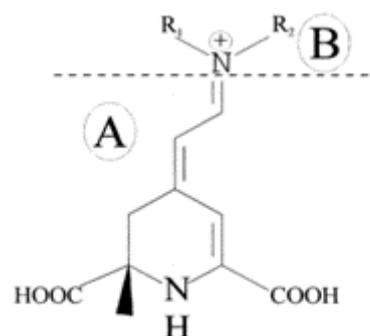
As embalagens inteligentes contêm indicadores e componentes adicionados capazes de acompanhar e fornecer informações sobre os produtos, demonstrando um claro sinal para o consumidor de que o produto, mesmo ainda dentro do prazo de validade, já demonstra indícios de deterioração (REBELLO, 2009). Esses dados estão diretamente relacionados com a qualidade dos alimentos, assim se tem conhecimento de alterações indesejadas que indiquem seu vencimento. (CASTRO et al., 2018).

As embalagens ativas e inteligentes simbolizam um enorme avanço tecnológico para o setor de alimentos, uma das possíveis características dessas embalagens é a indicação da mudança de pH, também conhecida como indicadores ácido-base, essas, são compostas por substâncias orgânicas que são amenamente básicas ou ácidas que apresentam colorações diferentes para suas formas protonadas e desprotonadas (BÁNYA, 1972; BACCAN et al., 2001). Quando empregadas nas embalagens os pigmentos presentes em seu material, que são sensíveis a estas mudanças de pH, refletem assim na mudança de cor (KRUIJF et al., 2002).

Pode-se definir um indicador visual como sendo uma substância capaz de mudar de cor de acordo com as características físico-químicas do meio ao qual está inclusa, seja por motivos de pH, potencial elétrico, ou diversos outros fatores (ELVERS, 1991).

Na natureza existem algumas espécies que podem fornecer substâncias que apresentem função de indicador natural de pH, como as hortaliças que contêm betalaínas, pigmentos naturais indicadores de pH, são plantas da ordem *Centrospermae (Caryophyllales)*, sua classificação é de compostos N-heterocíclicos; são hidrossolúveis e encontrados como betacianina (responsável pela coloração avermelhada) e betaxantina (responsável pela coloração amarelada).

Figura 2 - Fórmula geral da betalaína: A - Porção de ácido betalâmico, presente em todas as moléculas; B - Estrutura variável representativa da betacianina ou betaxantina, dependendo dos resíduos R1 e R2.



FONTE: HERBACH et al, 2006

A fonte mais usual das betalaínas é na hortaliça beterraba vermelha, apresentando cerca de 0,04%-0,21% de betacianinas e 0,02%-0,14% betaxantinas. As betacianinas são quantitativamente as mais abundantes na beterraba vermelha, são elas que conferem a coloração vermelho-púrpura. Na atualidade são conhecidas 50 betacianinas, sendo estas subdivididas em em betanina, amarantina, gonfrenina e bougainvilina. Na composição da beterraba vermelha se tem, do total de betalaínas presentes, cerca de 75 a 95% de betanina que varia de acordo com o cultivo, da idade do vegetal e principalmente do potencial do cultivar (Cai, Sun e Corke, 2005;KUJALA et al., 2000).

Diante do exposto, o seguinte trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um filme biodegradável inteligente produzido à base de amido da batata inglesa e extrato de beterraba.

2 METODOLOGIA

2.1. Materiais e Reagentes

Nos procedimentos foram utilizados os reagentes conforme tabela 1.

Tabela 1: Reagentes e suas respectivas fórmulas químicas.

Reagente	Fórmula molecular
Álcool etílico 96° GL	C_2H_6O
Água deionizada	H_2O
Sorbitol	$C_6H_{14}O_6$
Hidróxido de Amônio	NH_4OH

A fécula de batata foi adquirida no estabelecimento Armazém São Vito® (São Paulo, Brasil). A beterraba foi adquirida no estabelecimento Vencedor Atacadista® (São Paulo, Brasil). Para a realização das etapas foram utilizados os seguintes equipamentos: espectrofotômetro UV-Vis (NOVA Instruments®), balança analítica (GEHAKA®); capela de fluxo laminar (Ideoxima®); estufa (NOVATECNICA®); micrômetro digital (KingTools®); capela de exaustão (QUIMIS®).

2.2 Método

2.1.1. Preparo extrato de beterraba

O método de extração das betaninas, tipo de betacianina em maior quantidade na beterraba (*Beta vulgaris L.*), é realizado conforme as metodologias descritas por Francis (2000) e Attia (2013), as quais foram adaptadas para este trabalho.

As beterrabas foram lavadas utilizando água e descascadas. Pesou-se as cascas, sendo que 100g foram trituradas por 15 min utilizando um mixer de mão, juntamente com 500 mL de etanol 96° GL. O triturado, então, foi passado por um sistema de filtração simples, e o resíduo lavado duas vezes com etanol 96°GL, o filtrado resultante, figura 3, foi armazenado em frasco âmbar e estocado em um local sem contato com a luz e em temperatura ambiente até a utilização.

Figura 3: Extrato líquido do Lote 2.



Os extratos diluídos foram submetidos à técnica de espectrofotometria de absorção molecular, analisando, em termos quantitativos, referente ao composto fenólico extraído.

Quantificação de betaninas

Utilizando o método descrito por Ferreira (2017), para quantificação das betaninas, foram homogeneizadas em água, amostras de 1g de extrato de beterraba. Em seguida, as soluções foram transferidas para um balão volumétrico de 100 mL, completando o volume e acertando o menisco. As soluções foram filtradas para realizar as leituras espectrofotométricas em duplicata no comprimento de onda de 536 nm.

A quantificação das betaninas foi realizada de acordo com a Lei de Lambert-Beer, modificada por Tang (2007), de acordo com a fórmula 1, onde Bc é o equivalente de betanina em mg/100g de extrato; A é a absorvância máxima da betanina; MM é a massa molar da betanina; ϵ é o coeficiente de absorvância molar da betanina; l é largura do caminho óptico da cubeta e 1000 é o fator de diluição da amostra.

$$Bc = \frac{A \times MM_{betanina} \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (\text{Fórmula 1})$$

2.1.2. Elaboração dos filmes biodegradáveis

Os filmes foram preparados, através da técnica de *casting*, na concentração de 6% m/m (amido/água), utilizando o sorbitol como plastificante a 20% m/m (sorbitol/amido). Os reagentes foram previamente pesados e misturados, com exceção do extrato antocianico, em um béquer. Em seguida, a solução foi aquecida a 70°C em banho-maria, durante 1h, sendo constantemente agitada com o auxílio de um bastão de vidro, a fim de promover a

gelatinização do amido. A solução foi resfriada a 40°C e nesta foi adicionado e incorporado o extrato 15% v/m (extrato/água) (FARAHNAKY et al. 2013).

A seguir, de acordo a metodologia descrita por Arenas (2012) e adaptando para este trabalho, 8g de solução foram dispostas sobre placas de petri de plástico com aproximadamente 63,5 cm² de área. E, para que não houvesse contaminação microbiológica, o processo de secagem do conjunto foi realizado em capela de fluxo laminar com duração média de 2 a 3 dias.

Posteriormente, os filmes foram destinados aos testes de caracterização, com forma e dimensões padronizadas (3x3cm), preparados para serem submetidos a ensaios com o intuito de verificar determinadas características do produto.

2.1.3. Caracterização dos filmes

Análise do aspecto visual dos filmes

O aspecto visual do filme foi feito através de observações táteis e visuais. Foram analisados aspectos como a coloração, a homogeneidade do filme e sua continuidade, ou seja, não deveria conter bolhas, rachaduras, partículas insolúveis ou poros abertos. (LIMA, et al., 2017)

Análise de Espessura

As medidas de espessura dos filmes foram obtidas com o auxílio de um micrômetro da marca KingTools, com leitura de 0,01 mm. O filme é colocado entre as faces de medição do micrômetro e então o encosto móvel é movido até encostar a outra face do filme. Em seguida, é feita a leitura do equipamento. A medição é realizada em pelo menos 5 pontos de cada filme, considerando as extremidades os pontos medianos e os pontos centrais. Logo após, calcula-se a média aritmética dos valores obtidos. (SILVA, 2011)

Análise de Gramatura

Para determinação da gramatura dos filmes, mediu-se a massa destes com o uso de uma balança analítica e mensurou-se a área do corpo de prova com o auxílio de uma régua. A gramatura foi determinada matematicamente por meio da razão entre a massa (g) e a área (cm²) do filme. (ALMEIDA et al., 2013)

Determinação da solubilidade em água

A solubilidade em água foi determinada seguindo o método proposto por Costa (2017), com adaptações para este projeto.

Para isso, um pedaço de cada filme, com aproximadamente 9 cm², foi secado em estufa a 105°C por 24h. Após esse período, foi determinada a massa e a amostra foi imersa em 100 mL de água destilada em temperatura ambiente, e mantida em incubadora a 25°C por 24h. Então, retiraram-se os filmes da água com auxílio de uma espátula de metal, os filmes foram dispostos em vidros de relógio e secos em estufa a 105°C. Depois de determinada a massa final, foi calculado o teor de solubilidade utilizando a fórmula 2, onde a perda de massa (Pm) é igual à subtração da massa inicial pesada (m₁) pela massa final (m₂), dividido pela massa inicial e multiplicado por 100.

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

Determinação do teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade, em termos de porcentagem, que corresponde à perda de massa da amostra pós-aquecimento, os corpos de prova foram pesados, os quais foram reservados em estufa a uma temperatura de 105°C, até que a massa permanecesse constante.

O cálculo utilizado para este procedimento encontra-se descrito na fórmula 3 onde, subtraiu-se a massa, em gramas, integral (m₂) do produto pela massa da amostra seca (m₁). O valor obtido é multiplicado por 100 e, por fim, dividido por sua massa integral (SILVA, 2011).

$$\%_{m/m} \text{ umidade} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (\text{Fórmula 3})$$

Ensaio de Biodegradação

Em recipientes de polipropileno, adicionou-se cerca de 30g de terra adubada e colocou-se os corpos de prova (9cm²) previamente pesados (m₁), com área e gramatura definidos sob condições ambientes de temperatura e pressão, e cobriu-se com mais terra adubada. Periodicamente, pulverizou-se água. Após 15 dias, os filmes foram desenterrados cuidadosamente, a terra residual foi removida por meio de leves

pinceladas e analisou-se a massa final (m_2) (BONA et al., 2007).

O teor de biodegradabilidade foi determinado a partir da fórmula 4.

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

Avaliação da atividade do filme com a mudança de pH

A fim de determinar a mudança colorimétrica visual do filme quando submetido a condições elevadas de pH, os corpos de prova foram postos em contato com hidróxido de amônio 1%.

A solução foi disposta em um béquer de 10 mL, o qual foi tampado com o filme, de modo que os vapores alcalinos provenientes da volatilização da solução atingissem o filme. A mudança de coloração do filme foi observada, utilizando como padrão comparativo um béquer vazio tampado com o filme. (ARENAS, 2012)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Quantificação das betaninas

Ao triturar as cascas da beterraba em meio alcoólico rapidamente a solução se tornou da cor do fruto, um violeta escuro e opaco, segundo Dias (2003) isso é justificado pela presença de um pigmento vermelho com características polares na solução vindos da beterraba, sendo a maior responsável pelo mesmo ser a betanina, demonstrando que a extração foi efetiva e obteve resultados satisfatórios.

A concentração dos extratos foi determinada conforme a fórmula 1, sendo a quantidade de betaninas da amostra expressa em miligramas por 100 gramas de beterraba (mg/100g). Os dados de concentração estão descritos conforme a tabela 2.

Tabela 2: Concentração de betanina nos extratos correspondentes aos lotes 1 e 2.

Lote	Extrato	Concentração (mg/100g) ± desvio padrão
1	1	19,5747 ± 0,9101
	2	21,2206 ± 0,7358
	3	20,6592 ± 0,1744
2	1	23,5642 ± 2,5094
	2	20,3875 ± 0,6673

	3	19,2129 ± 1,8419
--	---	------------------

Os resultados obtidos estão dentro do encontrado por Dias (2019), caracterizando que a quantidade de betanina extraída é relacionada ao solvente utilizado na extração, onde utilizando o solvente etanol 96°gl a mesma registrou que é extraído normalmente entre 10 e 25 mg de betanina a cada 100g de amostra, demonstrando que os resultados obtidos são satisfatórios.

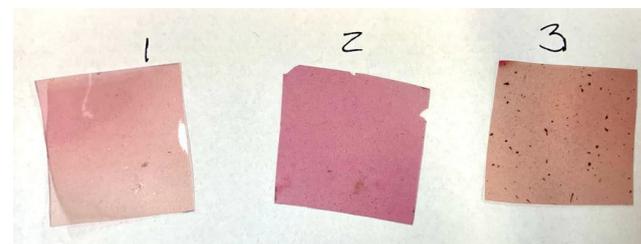
3.2. Análise do aspecto visual dos filmes

Os três lotes de filmes produzidos apresentaram-se translúcidos e homogêneos, sem poros abertos ou rachaduras, com uma variação de cor entre rosa e rosa alaranjado, que pode ser explicada pela possível degradação das betaninas no extrato, em contato com o oxigênio e exposição à luz. Entretanto, nos três lotes pôde-se observar a presença de pequenas bolhas de ar, as quais podem ter se formado durante a secagem.

Observou-se que os filmes apresentavam bordas que se enrolavam, conforme eram manuseados durante um tempo, além de ficarem pouco elásticos e quebradiços, segundo Seligra (2016) isso se dá pela desestabilização molecular das interações de ligações de hidrogênio estabelecidas entre as cadeias do amido.

Ademais, os lotes 1, 2 e 3, figura 4, apresentaram partículas insolúveis que foram identificadas como amido não diluído. E somente no lote 3, ocorreu partículas de cascas de beterraba, que durante a filtração do extrato, não ficaram retidas no papel de filtro.

Figura 4: corpos de prova (3x3cm) dos lotes 1, 2 e 3, respectivamente.



3.3. Análise de espessura

Os resultados da espessura dos filmes de cada lote com seus desvios padrão estão descritos na tabela 3. A espessura dos filmes foi controlada pela massa de solução filmogênica adicionada às placas de Petri.

Tabela 3: espessura média dos filmes nos lotes 1, 2 e 3.

Lote	Espessura (mm) \pm desvio padrão
1	0,00938 \pm 0,00189
2	0,0164 \pm 0,00773
3	0,0110 \pm 0,00381

As espessuras obtidas dos filmes de amido apresentaram-se satisfatórias, e menores que as descritas por Aimoto (2007) de 0,07mm a 0,10 mm. O método de *casting* aplicado, de acordo com Mali et al. (2010) exige atenção, já que é um procedimento manual e o controle da espessura depende dentre outros fatores, da viscosidade, ficando propenso a variações em seus resultados físicos. Entretanto, realizou-se um controle adequado de massa de solução filmogênica, aplicada durante o *casting*, resultando em espessuras próximas entre si.

3.4. Análise de gramatura

A gramatura dos filmes está interligada com a sua resistência mecânica, sendo assim, gramaturas maiores contribuem para resistências mecânicas maiores (ALMEIDA et al., 2013).

Na tabela 4 se encontram os resultados do teste de gramatura.

Tabela 4: gramatura dos filmes dos lotes 1,2 e 3.

Lote	Gramatura (g/cm ²) \pm desvio padrão
1	0,0107 \pm 0,0008
2	0,0137 \pm 0,0036
3	0,0137 \pm 0,0034

Conforme a tabela 4, pode-se observar que variações dos valores de gramatura dos filmes são similares entre os lotes, e próximos dos valores de gramatura descritos por Almeida (2013), visto assim, que o processo de formação do filme se manteve similar durante o *casting* dos mesmos.

3.5. Determinação da solubilidade em água

Os resultados da solubilidade média dos filmes de cada lote estão dispostos na tabela 5.

Tabela 5: teor de solubilidade dos filmes em água.

Lote	Solubilidade (%) \pm desvio padrão
1	22,88 \pm 20,09
2	32,66 \pm 12,87
3	21,05 \pm 0,734

Os resultados obtidos se mostraram condizentes com outros filmes que utilizam sorbitol e abaixo do valor encontrado em filmes que utilizaram glicerol como plastificante. A solubilidade encontrada para o filme é superior à encontrada por Silva (2011), que descreve que se o valor de solubilidade encontrado for abaixo de 30%, o filme pode ser usado em produtos que necessitam de embalagens com menor solubilidade.

3.6. Determinação do teor de umidade.

A tabela 6 demonstra os resultados em porcentagem do teste de teor de umidade.

Tabela 6: Teor de umidade dos filmes nos lotes 1, 2 e 3.

Lote	Teor de umidade (%) \pm desvio padrão
1	25,78 \pm 10,06
2	15,58 \pm 6,96
3	14,30 \pm 0,667

De acordo com os dados da tabela, nota-se que o lote 1 apresentou maior porcentagem média de umidade nos filmes, de 25,78 \pm 10,06, diferente dos lotes 2 e 3 pelo fato de que o lote 1 foi deixado para secar por menos tempo do que os lotes 2 e 3, segundo Ascheri (2019) isso pode ser comprovado pelo processo de formação do filme que evapora até a sua conformação molecular estabilizar formando o plástico.

Os resultados obtidos foram próximos do teor de umidade encontrado por Costa (2017) em filmes de amido com sorbitol (18,9914 \pm 5,4753), ainda segundo o autor esse valor é aceitável para filmes biodegradáveis, visto que para o filme apresentar boas propriedades de barreira, o

mesmo deve apresentar teor de umidade máximo de 28%. Considerando esse pressuposto, todos os lotes, obtiveram resultados satisfatórios.

3.7. Ensaio de biodegradação

Os resultados do ensaio de biodegradação, figura 5, foram analisados a partir do teor de biodegradação dos filmes expressos na tabela 7, onde biodegradação¹ se trata dos filmes que não foram pulverizados com água e biodegradação² os filmes pulverizados.

Tabela 7: Teor de biodegradação dos filmes

Lote	Biodegradação ¹ (%)	Biodegradação ² (%)
1	10,52	16,53
2	-	-
3	21,57	28,78

Observa-se que os filmes que foram pulverizados com água apresentaram taxa de biodegradação média maiores do que os não-pulverizados, demonstrando que a água influencia positivamente na biodegradação dos filmes conforme descrito por Ricardo (2009). Quanto a taxa de biodegradação, segundo o mesmo autor, quanto maior o teor de umidade no filme, mais rapidamente ele degrada e também que soluções filmogênicas com 20% ou menos de amido, nos primeiros 15 dias apresentam taxas de biodegradabilidade abaixo de 30% mesmo pulverizadas com água ou não, o que demonstra um resultado satisfatório.

Segundo o mesmo autor, após 20 dias todos os corpos de prova estariam completamente degradados.

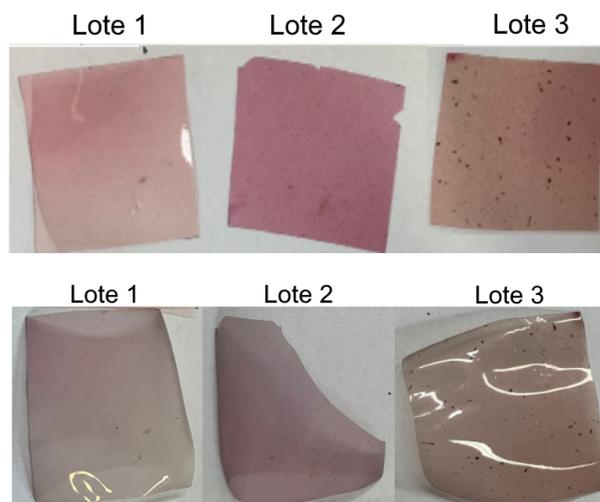
Figura 5: Teste de biodegradabilidade dos filmes.



3.8. Avaliação da atividade do filme com a mudança de pH

O aspecto visual ao início e ao final do teste foi registrado, conforme as figuras 6a e b.

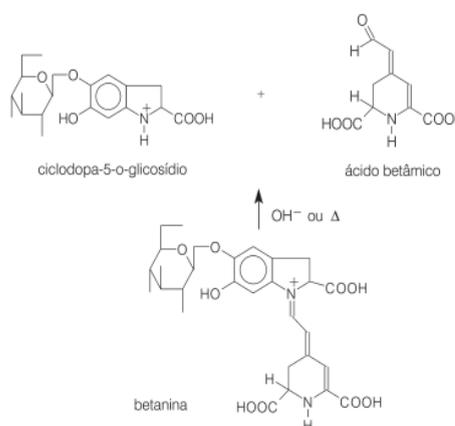
Figura 6: (a) Aspecto do filme utilizado como padrão; (b) Aspecto do filme posto em contato com hidróxido de amônio 1%.



A partir das imagens, pôde-se observar que a coloração do filme parte do rosado e se torna cinza amarronzada, indicando que a mudança na coloração do filme, característica de uma embalagem inteligente, foi atingida.

A variação da cor expressa pelos filmes pode, então, ser atribuída a presença das betaninas na matriz filmogênica, pois segundo Dias (2003), os extratos da beterraba apresentam diferentes colorações quando estão em meio ácido ou básico. O comportamento observado é justificado então pela hidrólise da betanina em função do pH básico do meio, o qual nas condições dos testes estava entre 8 e 9, produzindo ciclodopa-5-o-glicosídeo e ácido betâmico, conforme a figura 7.

Figura 7: Conversão da betanina em função do pH do meio.



Fonte: (DIAS et al., 2003)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantificação das betaninas pelo método de espectrofotometria mostrou que os solventes utilizados no presente trabalho são uma opção viável para a extração de betaninas.

Em relação à caracterização dos filmes, os testes de espessura e também de gramatura obtiveram diferentes resultados os quais são justificados por conta da imprevisibilidade do método de secagem, o *casting*.

Quanto aos testes de teor de umidade, os resultados obtidos demonstram que o filme ao final do processo de *casting*, demonstra um baixo teor de umidade em sua estrutura, caracterizado pela utilização de plastificantes no filme.

Os resultados obtidos do teste de teor de solubilidade dos filmes se mostraram satisfatórios, podendo atuar como proteção para meios em que a atividade de água é alta.

Referente ao ensaio de biodegradação, confirmou-se a biodegradabilidade dos filmes de amido mesmo que sendo baixa, permite nos afirmar que a umidade presente nos filmes influencia na taxa de biodegradação, concluindo assim que o tempo de análise adotado (15 dias) foi insuficiente para se analisar índices altos de degradação nos filmes, sendo necessária uma análise com mais de 20 dias a fim de aumentar os índices, contudo o teste demonstrou um resultado satisfatório.

Por fim, a atividade do filme quanto a mudança de pH mostrou que os filmes produzidos são indicadores colorimétricos e se mostraram satisfatórios quanto a esse aspecto, mas devido à baixa variação de coloração entre pH próximos, não poderiam ser aplicados em qualquer tipo de meio, demonstrando que o meio em que o filme fosse colocado tivesse pH abaixo de 3 e acima de 9, condições nas quais a degradação das betaninas é alta o bastante para tornar a mudança de cor claramente visível, limitando sua utilização na indústria.

Com base nos resultados obtidos da caracterização dos filmes, conclui-se que a utilização de filmes de amido com sorbitol e betaninas extraída da beterraba para indicação de de pH é viável, mas com limitações de utilização.

5 PERSPECTIVAS

Posto isso, estima-se que em trabalhos futuros seria de extrema relevância a utilização de

outras fontes de extração de betalaínas a fim de que a mudança da coloração do filme seja mais objetiva, além de um maior tempo de degradação no teste de biodegradabilidade utilizando diferentes concentrações de amido e de plastificantes, e por fim a realização de um estudo mais aprofundado sobre o desenvolvimento de filmes biodegradáveis inteligentes com indicadores de pH para que possam ser utilizados como indicadores de qualidade de alimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, especialmente, a nossa orientadora Prof^a Dra. Aline Alves Ramos e à nossa professora de PDTCC Thaís Taciano dos Santos, por sempre nos apoiar e trabalhar conosco no desenvolvimento do trabalho. À todos os professores da base técnica, que nos auxiliaram e cederam suas aulas. Às nossas famílias e amigos, por sempre nos darem suporte, e, por fim, à instituição ETEC Irmã Agostina, que disponibilizou a infraestrutura para que pudéssemos realizar este projeto.

REFERÊNCIAS

ABRE. **Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo.**

AIMOTO, S. A.; MALI, S.; & EIRAS GROSSMANN, M. V. (2007). **Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca.** Seminário: Ciências Agrárias, 28(1), 79-88.

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.

ASCHERI, D. P. R. et al, **Elaboração e Caracterização de Filmes Biodegradáveis de Amido de Solanum lycocarpum St. Hill e Glicerol.** Journal of Social, Technological and Environmental Science; <http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/> v.8, n.1, jan.-abr. 2019; p. 362-378.

- ATTIA, G. Y.; MOUSSA, M. M.; SHEASHEA, E. EL D. R. **Characterization of red pigments extracted from red beet (*Beta vulgaris*, L.) and its potential uses as antioxidant and natural food colorants**. Egyptian Journal of Agricultural Research, v. 91, n. 3, p. 1095-1110, 2013.
- BACCAN, N. et al. **Química analítica quantitativa elementar**. Editora Blucher, 2001.
- BÁNYA, E. Bishop, ed.; Pergamon Press: Oxford, **EM Indicators** p. 1, 1972.
- BEMILLER, J. N. Starches: molecular and granular structures and properties. **Carbohydrate chemistry for food scientists**, v. 3, p. 159-189, 2019.
- BONA, J. C. de et al. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de blendas de amido com polietileno**. 2007.
- BOTÃO, M. de A. **Estudo físico-químico da interação entre o copolímero tribloco Plurônico F127 e amido de milho em solução aquosa**. 2020.
- BRIZOLA, G. L. **Amido e sericina na produção de filmes biodegradáveis**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- CAI, Y. Z.; SUN, M.; CORKE, H. **Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae**. Trends in Food Science and Technology, v. 16, n. 9, p. 370-376, 2005. ISSN 09242244 (ISSN).
- CAMPBELL, M. K. **Bioquímica**. 3a edição. Porto Alegre: Artmed Editora, p. 546-58, 2000.
- CASTRO, F. et al. **Avaliação dos Hábitos de Consumo e Grau de Conhecimento Sobre Embalagens Alimentares e População Portuguesa**. 11.ª Reunião Anual PortFIR-“Partilhar e Cooperar para uma Alimentação Saudável”, INSA, 25-26 out 2018, 2018.
- CHIUMARELLI, M.; FERREIRA, M. D.. **Qualidade pós-colheita de tomates Débora Com utilização de diferentes coberturas comestíveis e temperaturas de armazenamento**. Horticultura brasileira, v. 24, p. 381-385, 2006.
- 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.
- COSTA, L. A. da. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis à base de amido de semente de Jaca incorporados com antocianinas**. 2017.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed editora, 2018.
- DAVIS, G.; SONG, J. H. **Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management**. Industrial crops and products, v. 23, n. 2, p. 147-161, 2006
- DIAS, A. C. S.. **Extração de betanina em beterraba (*Beta vulgaris*) utilizando solventes alternativos e avaliação da atividade antioxidante**. 2019.
- DIAS, M. V.; GUIMARÃES, P. I. C.; MERÇON, F.. Corantes naturais: **Extração e emprego como indicadores de pH**. Química Nova na Escola, v. 17, n. 2, p. 27-31, 2003.
- DONMEZ, D. et al. **Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties: Starch gelatinization and retrogradation**. Current Opinion in Food Science, v. 39, p. 103-109, 2021.
- ELVERS, B. et al. **Ullmann 's encyclopedia of industrial chemistry**. Hoboken, NJ: Verlag Chemie, 1991.
- FARAHNAKY, A.; SABERI, B.; MAJZOOBI, M. **Effect of glycerol on physical and mechanical properties of wheat starch edible films**. Journal of Texture Studies, v. 44, n. 3, p. 176-186, 2013.
- FERREIRA, L. C. **Estudo de Diferentes Metodologias para Quantificação de Betalaina de Beterraba**. In: Congresso Internacional de Atividade Física, Nutrição e Saúde. 2017.
- FRANCIS, F. J. **FEATURES-Anthocyanins and Betalains: Composition and Applications**. Cereal Foods World, v. 45, n. 5, p. 208-213, 2000.
- HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. **Betalain stability and degradation—structural and chromatic aspects**. Journal of food science, v. 71, n. 4, p. R41-R50, 2006.
- KROCHTA, J. M. **Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities**. Protein-based films and coatings, v. 1, p. 1-40, 2002.
- KRUIJF, N. De et al. **Active and intelligent packaging: applications and regulatory**

aspects. Food Additives & Contaminants, v. 19, n. S1, p. 144-162, 2002.

KUJALA, T. S. et al. **Phenolics and betacyanins in red beetroot (Beta vulgaris) root: Distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds.** Journal of agricultural and food chemistry, v. 48, n. 11, p. 5338-5342, 2000.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica.** Ediciones Omega, 2005.

LIMA, A. C. dos R. **Produção e caracterização de biofilmes de amido de batata doce e crueira plastificados com glicerol e sorbitol.** 72º Congresso Anual da ABM vol. 72, num. 1 (2017).

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização.** Semina: Ciências Agrárias, v. 31, n. 1, p. 137-155, 2010.

REBELLO, F. De F. P. **Novas tecnologias aplicadas às embalagens de alimentos.** Revista Agrogeoambiental, 2009.

RICARDO, NMPS et al. **Estudo das propriedades mecânicas e biodegradáveis de blendas de amido de mandioca/quitosana/PVA.** In: Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros-Foz do Iguaçu, PR. 2009.

ROSA, D. S. et al. **Avaliação da Biodegradação de Poli-beta-(Hidroxibutirato), Poli-beta-(Hidroxibutirato-co-valerato) e Poli-epsilon-(caprolactona) em Solo Compostado.** Polímeros, v. 12, p. 311-317, 2002.

SELIGRA, P. G. et al. **Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch-glycerol with citric acid as crosslinking agent.** Carbohydrate Polymers, v. 138, p. 66-74, 2016.

SILVA, E. M. da. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão.** 2011.

SILVA, N. M. C.; ALBUQUERQUE, E. C. de M. C.; FIALHO, R. L. **Prospecção Tecnológica sobre Filme Biodegradável Inteligente.** Cadernos de Prospecção, v. 8, n. 1, p. 57-57, 2015.

TANG, C. S. et al. **Stability of betacyanin pigments from red purple pitaya fruit (Hylocereus polyrhizus): influence of pH, temperature, metal ions and ascorbic acid.**

Indonesian Journal of Chemistry, v. 7, n. 3, p. 327-331, 2010.

THARANATHAN, R. N. **Biodegradable films and composite coatings: past, present and future.** Trends in food science & technology, v. 14, n. 3, p. 71-78, 2003.