



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CAMPUS SÃO BENTO
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

JOÃO VITOR CAMPOS DOS ANJOS

**Avaliação da biodegradabilidade de bioplásticos à base de
pectina e amido do mesocarpo do coco babaçu**

São Bento - MA
2026



JOÃO VITOR CAMPOS DOS ANJOS

Avaliação da biodegradabilidade de bioplásticos à base de pectina e amido do mesocarpo do coco babaçu

Monografia/Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA como requisito parcial, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador (a): Prof. Casi Santos dos Santos

São Bento - MA
2026



Anjos, João Vitor Campos dos

Avaliação da biodegradabilidade de bioplásticos à base de pectina e amido do mesocarpo do coco babaçu. / João Vitor Campos dos Anjos. – São Bento MA, 2026.

20 f.

Artigo (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Estadual do Maranhão, Campus São Bento, 2026.

Orientador: Prof. Me. Casi dos Santos

1.Bioplásticos. 2.Biodegradabilidade. 3.Pectina. I.Título.

CDU:502.131.1

CDU: **XXX**

Elaborado por Cassia Diniz – CRB 13/910



JOÃO VITOR CAMPOS DOS ANJOS

Avaliação da biodegradabilidade de bioplásticos à base de pectina e amido do mesocarpo do coco babaçu

Monografia/Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA como requisito parcial, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador (a): Prof. Casi Santos dos Santos

Aprovado em 08 de julho de 2026.

Banca Examinadora

Casi Santos dos Santos
Orientador

Juliana Lopes Almeida
Examinadora

Zaiane de Cássia Barbosa Sá
Examinadora



RESUMO

O aumento da produção e do descarte inadequado de plásticos convencionais tem impulsionado a busca por materiais biodegradáveis obtidos de fontes renováveis. Este trabalho avaliou a biodegradabilidade de biofilmes produzidos com pectina e amido extraído do mesocarpo do coco babaçu, analisando a influência da composição sobre espessura, massa inicial, massa final e perda de massa em solo. As formulações foram preparadas com amido, pectina, glicerol e cloreto de cálcio, conforme Delineamento Composto Central Rotacional, totalizando 11 ensaios. Os biofilmes foram obtidos por moldagem em placas, secos em estufa a 40 °C por 18 a 20 horas e armazenados em ambiente com umidade relativa controlada. A biodegradabilidade foi avaliada pelo método de enterramento em solo durante 10 dias, em triplicata, com acompanhamento diário da perda de massa. Os filmes apresentaram boa formação visual, estrutura contínua, flexibilidade, ausência de rachaduras e coloração variando de branco translúcido a bege amarelado. Todos os ensaios apresentaram redução de massa, com biodegradabilidade entre 47,5% e 68,1%. O Ensaio 1, composto por 1,16 g de amido e 1,16 g de pectina, apresentou a maior biodegradação, indicando que filmes mais finos e com menor massa tendem a degradar mais rapidamente. O Ensaio 6, com 8 g de amido e 4 g de pectina, apresentou a menor biodegradabilidade, sugerindo maior resistência da matriz com elevado teor de amido. Conclui-se que a espessura e a proporção entre amido e pectina influenciaram diretamente o comportamento de degradação dos biofilmes em solo.

Palavras-chave: Biofilmes. Polímeros naturais. Degradação em solo. Fontes renováveis. Materiais sustentáveis.



ABSTRACT

The increased production and inadequate disposal of conventional plastics have intensified the search for biodegradable materials obtained from renewable sources. This study evaluated the biodegradability of biofilms produced with pectin and starch extracted from the mesocarp of babassu coconut, analyzing the influence of formulation composition on thickness, initial mass, final mass, and mass loss in soil. The formulations were prepared with starch, pectin, glycerol, and calcium chloride, according to a Central Composite Rotatable Design, totaling 11 experimental trials. The biofilms were produced by plate molding, dried in an oven at 40 °C for 18 to 20 hours, and stored in an environment with controlled relative humidity. Biodegradability was evaluated by the soil burial method for 10 days, in triplicate, with daily monitoring of mass loss. The films showed good visual formation, continuous structure, flexibility, absence of cracks, and coloration ranging from translucent white to yellowish beige. All trials showed mass reduction, with biodegradability ranging from 47.5% to 68.1%. Trial 1, composed of 1.16 g of starch and 1.16 g of pectin, showed the highest biodegradation, indicating that thinner films with lower mass tend to degrade more rapidly. Trial 6, with 8 g of starch and 4 g of pectin, showed the lowest biodegradability, suggesting greater resistance of the matrix due to its high starch content. It is concluded that thickness and the proportion between starch and pectin directly influenced the degradation behavior of the biofilms in soil.

Keywords: Biofilms. Natural polymers. Soil degradation. Renewable sources. Sustainable materials.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. METODOLOGIA	15
2.1 MATERIAL	15
2.2 EXTRAÇÃO DO AMIDO DO MESOCARPO DO COCO BABAÇU	16
2.3 FORMULAÇÕES DAS MISTURAS	16
2.5 CARACTERIZAÇÃO DOS BIOFILMES	17
2.5.1 Aspectos sensoriais	17
2.5.2 Espessura (δ)	17
2.5.3 Avaliação da biodegradabilidade	17
3. RESULTADOS	19
3.1. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	26
3.2. TRABALHOS FUTUROS	27
4 CONCLUSÃO	28

1. INTRODUÇÃO

O plástico é um dos materiais mais utilizados na sociedade atual, principalmente por ser prático, resistente, leve e versátil. Por essas características, passou a fazer parte de diversas atividades do cotidiano, como embalagens, utensílios, produtos industriais e materiais descartáveis. No entanto, o crescimento do uso e da produção de plásticos também aumentou a quantidade de resíduos gerados, causando impactos ao meio ambiente. Além disso, o descarte inadequado desses materiais tem contribuído para problemas ambientais, econômicos e sociais (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017; BORRELLE et al., 2020).

Diante desse problema, os bioplásticos surgem como uma alternativa aos plásticos convencionais. De acordo com a *European Bioplastics*, os bioplásticos podem ser materiais de base biológica, biodegradáveis ou apresentar as duas características ao mesmo tempo (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2025). Um material biodegradável é aquele que pode ser transformado em substâncias naturais por meio da ação de microrganismos, fungos e bactérias. Essa ação biológica é o que diferencia a biodegradação de outros processos de degradação, como a fotodegradação e a oxodegradação (RUGGERO; GORI; LUBELLO, 2019).

Apesar de serem vistos como uma alternativa mais sustentável, os bioplásticos não se degradam todos da mesma forma. A biodegradação depende do tipo de material, da composição do bioplástico e do ambiente em que ele é descartado. Por isso, é importante avaliar o comportamento desses materiais em diferentes condições, como solo, compostagem e outros ambientes naturais ou controlados. Essa avaliação evita que apenas a perda de massa ou a aparência visual sejam consideradas como prova de biodegradação completa (FOLINO et al., 2020; AHSAN et al., 2023).

Nesse contexto, a compostagem se apresenta como uma possibilidade importante para o destino dos bioplásticos. Esse processo favorece a decomposição da matéria orgânica e pode auxiliar na transformação de resíduos em um material mais estável. No caso dos filmes e compósitos bioplásticos, a compostagem pode ser usada para observar como esses materiais se comportam ao longo do tempo. Assim, ela contribui para

analisar se o material apresenta potencial de degradação em condições mais adequadas ao seu descarte final (CUCINA et al., 2021; SIKORSKA et al., 2015; AHSAN et al., 2023).

Entre as matérias-primas usadas na produção de bioplásticos, o amido se destaca por ser um material de origem vegetal, abundante, de baixo custo e biodegradável. O amido extraído do mesocarpo do coco babaçu apresenta potencial para a formação de filmes biodegradáveis, podendo ser utilizado como matriz na produção de bioplásticos. Estudos mostram que o amido de babaçu pode ser empregado na produção de filmes por *casting*, com uso de plastificantes, e na formulação de compósitos biodegradáveis associados a fibras do próprio coco babaçu (MANIGLIA et al., 2017; MANIGLIA et al., 2019; MOURA et al., 2021; BORGES et al., 2023).

O coco babaçu é um recurso natural muito presente no Maranhão e possui grande importância para muitas comunidades que dependem do seu aproveitamento. Normalmente, a parte mais utilizada do fruto é a amêndoa, principalmente para a produção de óleo. No entanto, outras partes, como o mesocarpo, também podem ser aproveitadas. O mesocarpo do babaçu é rico em amido, o que torna esse material uma alternativa interessante para a produção de biofilmes biodegradáveis. Dessa forma, estudar o uso do amido do coco babaçu contribui para ampliar as formas de aproveitamento desse fruto e reduzir o desperdício de uma matéria-prima regional.

Além da importância ambiental, o uso do amido de babaçu também pode contribuir para a economia local do Maranhão. Como o babaçu faz parte da realidade de muitas famílias e comunidades extrativistas, o desenvolvimento de novos produtos a partir desse fruto pode gerar novas possibilidades de renda e valorização da produção regional. Assim, a produção de bioplásticos a partir do mesocarpo do coco babaçu representa uma alternativa que une sustentabilidade, aproveitamento de recursos naturais e valorização de uma matéria-prima abundante no estado. Por isso, pesquisas nessa área são importantes para incentivar soluções mais sustentáveis e ligadas à realidade local.

Apesar de suas vantagens, filmes feitos apenas com amido podem apresentar algumas limitações, como menor resistência mecânica e maior sensibilidade à água. Por esse motivo, a combinação do amido com outros biopolímeros pode melhorar as propriedades do material. Nesse sentido, a pectina aparece como uma alternativa

interessante, pois pode ser usada em formulações biodegradáveis junto ao amido. A associação entre pectina e amido permite a produção de materiais que podem ser avaliados quanto à absorção de água, perda de massa, resistência e biodegradação (AROOJ; KHAN; MUNAWAR, 2024; MANIGLIA et al., 2019).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a biodegradabilidade de bioplásticos produzidos à base de pectina e de amido extraído do mesocarpo do coco babaçu. A proposta busca compreender como esses materiais se comportam durante o processo de degradação, contribuindo para o estudo de alternativas biodegradáveis aos plásticos convencionais.

2. METODOLOGIA

2.1 MATERIAL

As misturas poliméricas foram produzidas utilizando amido extraído do mesocarpo do coco babaçu, pectina cítrica comercial da marca Dinâmica, glicerol da marca Dinâmica e cloreto de cálcio da marca Dinâmica. O amido e a pectina foram empregados como base da matriz polimérica, enquanto o glicerol atuou como plastificante e o cloreto de cálcio como agente auxiliar na estruturação das misturas (Figura 1).

Figura 1 - Materiais utilizados na preparação dos biofilmes: (a) pectina cítrica; (b) alginato de sódio; (c) glicerina; (d) amido do mesocarpo do coco babaçu; e (e) cloreto de cálcio.



Fonte: Próprio autor (2026).

2.2 EXTRAÇÃO DO AMIDO DO MESOCARPO DO COCO BABAÇU

A extração do amido foi realizada conforme a metodologia proposta por Araruna (2021). Inicialmente, o pó do mesocarpo do coco babaçu foi peneirado em malha de 200 mesh. Em seguida, o material foi submetido à lavagem com solução de metabissulfito de sódio na proporção 1:2 p/v, com a finalidade de evitar o escurecimento, sendo posteriormente agitado por 10 minutos e filtrado a vácuo. Na sequência, foram realizadas lavagens com NaOH 0,05 mol/L e etanol absoluto, visando à remoção de impurezas e ao aumento da pureza do amido. Por fim, o material obtido foi filtrado e seco em estufa a 40 °C por 24 horas.

2.3 FORMULAÇÕES DAS MISTURAS

As proporções de glicerol e cloreto de cálcio foram mantidas fixas, correspondendo a 5 mL e 30 mL, respectivamente, conforme o procedimento descrito por Lopes et al. (2017). Já as quantidades de amido do mesocarpo do coco babaçu e de pectina foram definidas de forma variável, conforme apresentado na Tabela 1, a partir de um planejamento experimental do tipo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), totalizando 11 ensaios.

A produção dos biopolímeros foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Santana e Kieckbusch (2013), por meio da preparação de uma solução formadora de filmes (Figura 2).

Figura 2 - produção dos bioplásticos.



Fonte: Próprio Autor (2026).

Em seguida, 60 g dessa solução foram distribuídos sobre placas acrílicas de 15 mm, com o objetivo de garantir maior uniformidade na espessura dos filmes. A secagem foi conduzida em forno de circulação forçada, modelo Nova Ética 400/1ND, à temperatura de 40 °C, durante 18 a 20 horas. Após esse processo, os filmes obtidos foram armazenados em ambiente controlado, com umidade relativa de 52%.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DOS BIOFILMES

2.5.1 Aspectos sensoriais

Foi realizada uma análise subjetiva dos biofilmes por inspeção visual e tátil, visando selecionar apenas aqueles que apresentavam boas características de homogeneidade, flexibilidade e resistência. Para isso, os filmes deveriam apresentar estrutura contínua, sem rupturas, falhas ou regiões frágeis, além de superfície uniforme e facilidade de remoção do suporte. As amostras que não atenderam a esses requisitos foram descartadas.

2.5.2 Espessura (δ)

A espessura dos biofilmes foi determinada com o auxílio de um micrômetro digital Mitutoyo, modelo MDC-25S, com resolução de 0,001 mm. Para cada amostra, foram realizadas medições em nove pontos escolhidos aleatoriamente, sendo a espessura final obtida pela média aritmética dos valores registrados.

2.5.3 Avaliação da biodegradabilidade

A biodegradabilidade dos biofilmes foi avaliada pelo método de enterramento em solo, adaptado de Pereira et al. (2021) e Malekzadeh, Tatari e Dehghani Firouzabadi (2024). Foram analisadas as 11 formulações do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), em triplicata, totalizando 33 amostras.

Figura 3 - Avaliação experimental da biodegradabilidade de bioplásticos.



Fonte: Próprio autor (2026).

O solo utilizado foi coletado na Universidade Federal do Maranhão, previamente homogeneizado e acondicionado em recipientes plásticos com dimensões de 20 × 10 × 5 cm. Os biofilmes foram cortados em corpos de prova padronizados de 4 × 3 cm e pesados em balança analítica para obtenção da massa inicial (Figura 2). Em seguida, as amostras foram enterradas no solo, mantendo-se a identificação de cada formulação e repetição.

Figura 4 - Padronização e pesagem inicial dos biofilmes utilizados no ensaio.



Fonte: Próprio autor (2026).

O ensaio foi conduzido durante 10 dias, com avaliação diária da perda de massa. A cada dia, as amostras foram retiradas do solo, limpas cuidadosamente para remoção de resíduos aderidos, pesadas e novamente enterradas para continuidade do experimento. A perda de massa foi calculada conforme a Equação 1:

$$\text{Perda de massa (\%)} = [(M_i - M_d) / M_i] \times 100 \quad (1)$$

em que M_i corresponde à massa inicial da amostra e M_d à massa do dia da pesagem ao final do experimento, os valores médios das triplicatas foram utilizados para a construção da curva de perda de massa em função do tempo.

3. RESULTADOS

Antes da avaliação da biodegradabilidade, os biofilmes foram observados quanto ao seu aspecto visual e manuseio. De modo geral, os materiais apresentaram boa formação, desprendendo-se facilmente das placas após a secagem. Os filmes não apresentaram rachaduras visíveis, não eram quebradiços e mostraram boa firmeza ao toque. A coloração variou de branco translúcido a bege amarelado, com aspecto semelhante ao de um plástico fino e flexível. Essas características indicam que as formulações apresentaram formação adequada da matriz polimérica, permitindo o manuseio e a realização dos ensaios posteriores.

A Tabela 1 apresenta os resultados de espessura média, massa inicial, massa final e porcentagem de biodegradabilidade dos biofilmes após 10 dias de contato com o solo. De modo geral, todos os ensaios apresentaram redução de massa, o que indica que os biofilmes produzidos com amido do mesocarpo do coco babaçu e pectina sofreram degradação durante o período avaliado. A perda de massa variou entre 47,5% e 68,1%, mostrando que a composição de cada formulação influenciou diretamente o comportamento dos materiais.

Observa-se que a espessura média dos biofilmes variou de 0,082 mm a 0,196 mm. O menor valor foi observado no Ensaio 1, composto pelas menores quantidades de amido e pectina, enquanto o maior valor ocorreu no Ensaio 4, que apresentou as maiores quantidades dos dois componentes. Esse resultado mostra uma relação esperada entre a quantidade de material usado na formulação e a espessura final do biofilme. Assim, formulações com maior teor de polímeros tendem a formar filmes mais espessos e com maior massa inicial.

Tabela 1. Resultados de espessura, massa inicial, massa final e biodegradabilidade dos biofilmes.

Ensaio	AMCB (g)	Pectina (g)	d (mm)	m _i (g)	m _f (g)	B (%)
1	-1 (1,16 g)	-1 (1,16 g)	0,082	0,442	0,141	68,1
2	+1 (6,84 g)	-1 (1,16 g)	0,137	0,872	0,403	53,8
3	-1 (1,16 g)	+1 (6,84 g)	0,139	0,839	0,298	64,5
4	+1 (6,84 g)	+1 (6,84 g)	0,196	1,232	0,576	53,2
5	-1,41 (0)	0 (4g)	0,096	0,559	0,277	50,4
6	+1,41 (8g)	0 (4g)	0,178	1,116	0,586	47,5
7	0 (4g)	-1,41 (0)	0,094	0,556	0,248	55,4
8	0 (4g)	+1,41 (8g)	0,176	1,113	0,403	63,8
9	0 (4g)	0 (4g)	0,135	0,835	0,299	64,2
10	0 (4g)	0 (4g)	0,138	0,842	0,402	52,3
11	0 (4g)	0 (4g)	0,134	0,831	0,311	62,6

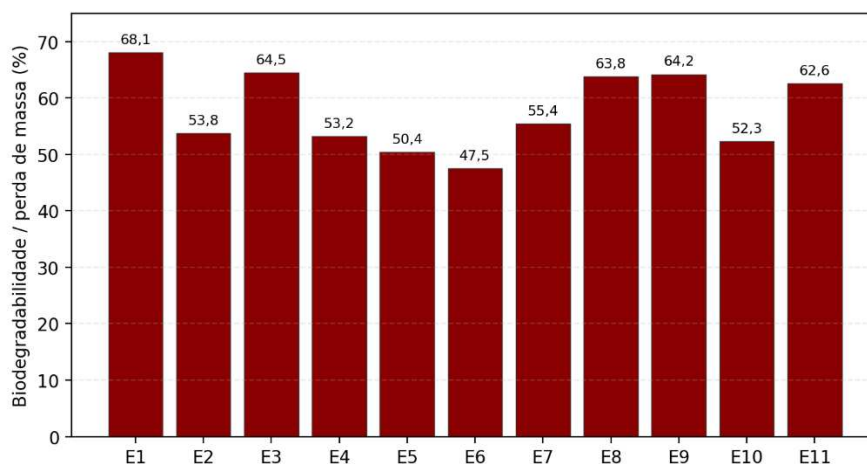
AMCB = amido do mesocarpo do coco babaçu; d = espessura média dos biofilmes; m_i = massa inicial; m_f = massa final; B = biodegradabilidade ou perda de massa após 10 dias de enterramento em solo. Valores expressos em gramas (g), milímetros (mm) e porcentagem (%).

Fonte: Próprio autor (2026).

A Figura 5 apresenta a biodegradabilidade final dos biofilmes após 10 dias de contato com o solo. Observa-se que todas as formulações apresentaram perda de massa, o que mostra que os materiais sofreram degradação durante o período analisado. O maior valor foi observado no Ensaio 1, com 68,1% de biodegradabilidade, enquanto o menor valor ocorreu no Ensaio 6, com 47,5%.

Mesmo o menor resultado pode ser considerado relevante, pois todas as formulações perderam mais de 47% de massa em apenas 10 dias. Isso indica que os biofilmes produzidos com amido do mesocarpo do coco babaçu e pectina apresentaram bom comportamento biodegradável no ensaio de enterramento em solo. No entanto, é importante destacar que, neste trabalho, a biodegradabilidade foi avaliada pela perda de massa. Portanto, os resultados indicam que houve degradação inicial do material, mas não significam, necessariamente, que ocorreu decomposição completa.

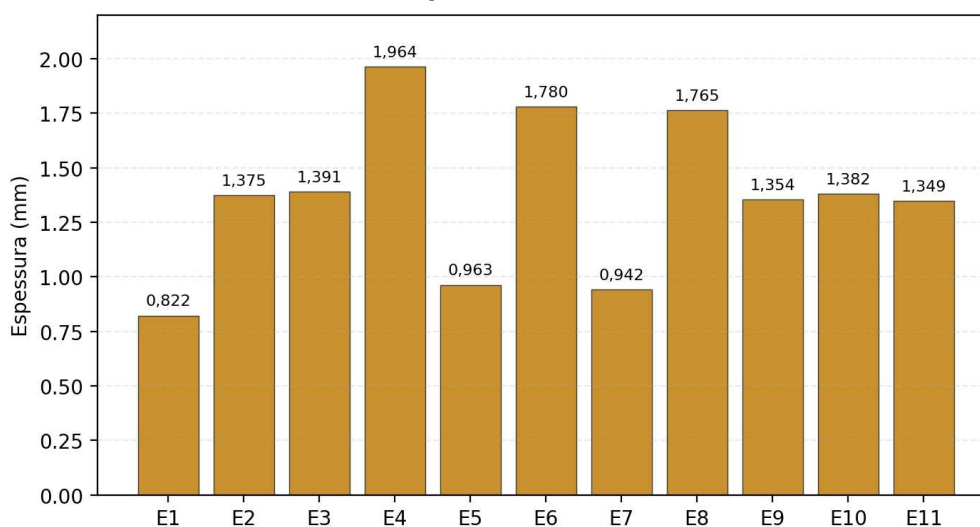
Figura 5. Biodegradabilidade dos biofilmes por formulação após 10 dias de contato com o solo.



Fonte: Próprio autor (2026).

A espessura média dos biofilmes variou entre 0,822 mm e 1,964 mm, como mostra a Figura 6. O menor valor foi encontrado no Ensaio 1, que possuía as menores quantidades de amido e pectina. Já o maior valor foi observado no Ensaio 4, que apresentou as maiores quantidades desses dois componentes. Esse resultado mostra que a quantidade de material usada na formulação influenciou diretamente a espessura final dos biofilmes. De modo geral, quanto maior a quantidade de amido e pectina, maior foi a espessura do filme formado. Isso também pode estar relacionado ao aumento da massa inicial e à formação de uma estrutura mais densa.

Figura 6. Espessura média dos biofilmes obtidos nas 11 formulações experimentais.

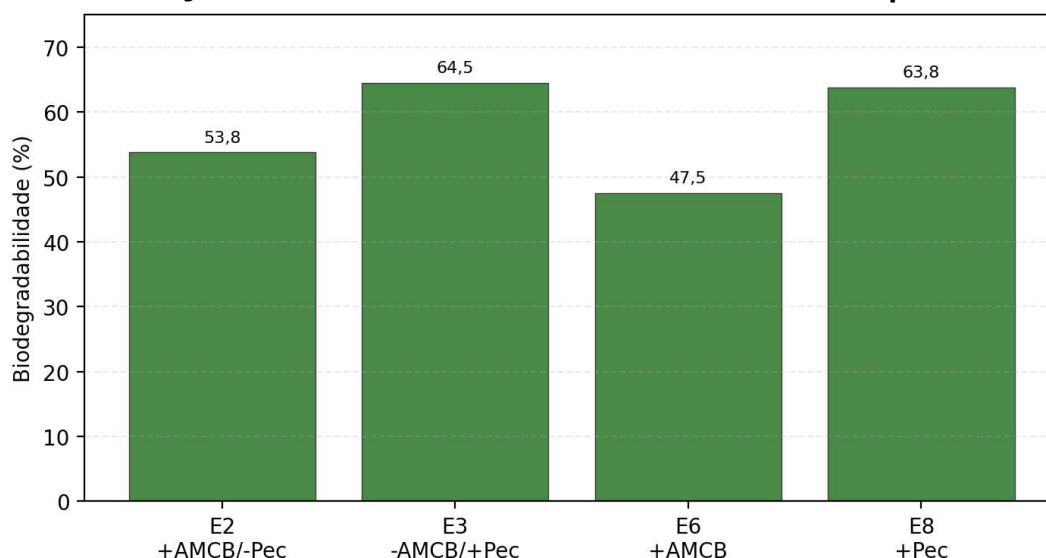


Fonte: Próprio Autor (2026).

A relação entre espessura e biodegradabilidade pode ser percebida quando se comparam os ensaios com comportamentos mais diferentes. O Ensaio 1 apresentou a menor espessura média e também a maior perda de massa. Isso pode ser explicado pelo fato de o filme ser mais fino e possuir menor quantidade de material, facilitando o contato com a umidade e com os microrganismos presentes no solo. Por outro lado, o Ensaio 6 apresentou uma espessura média de 1,780 mm e massa inicial de 1,116 g, além da menor biodegradabilidade entre as formulações. Esse resultado indica que o maior teor de amido pode ter formado uma estrutura mais resistente, dificultando a perda de massa durante os 10 dias de experimento.

Além da espessura, a composição dos biofilmes também influenciou os resultados. A Figura 7 mostra a comparação entre formulações com maior quantidade de amido e formulações com maior quantidade de pectina. Os Ensaios 2 e 3, por exemplo, apresentaram espessuras muito próximas, de 1,375 mm e 1,391 mm, respectivamente. Mesmo assim, os resultados de biodegradabilidade foram diferentes. O Ensaio 2, com maior quantidade de amido e menor quantidade de pectina, apresentou 53,8% de perda de massa. Já o Ensaio 3, com menor quantidade de amido e maior quantidade de pectina, apresentou 64,5%. Isso mostra que a maior presença de pectina pode ter favorecido a degradação do biofilme.

Figura 7. Comparação do efeito da composição sobre a biodegradabilidade: formulações com maior teor de amido e maior teor de pectina.



Fonte: Próprio Autor (2026).

Essa mesma tendência também pode ser observada na comparação entre os Ensaio 6 e 8. Os dois apresentaram massas iniciais e espessuras relativamente próximas, mas tiveram resultados diferentes. O Ensaio 6, com maior quantidade de amido, apresentou 47,5% de biodegradabilidade. Já o Ensaio 8, com maior quantidade de pectina, apresentou 63,8%.

Esse resultado reforça que a pectina pode ter contribuído para maior absorção de água e para uma maior desestruturação do biofilme durante o contato com o solo. Já as formulações com maior teor de amido apresentaram maior resistência à degradação no período avaliado.

O Ensaio 4, que apresentou as maiores quantidades de amido e pectina, teve a maior espessura média, com 1,964 mm, e a maior massa inicial, com 1,232 g. Apesar disso, sua biodegradabilidade foi de 53,2%, valor menor do que o observado em algumas formulações com maior proporção de pectina. Esse comportamento pode indicar que, quando os dois componentes estão presentes em grandes quantidades, o biofilme formado tende a ser mais espesso e mais compacto, o que pode reduzir a velocidade da degradação inicial.

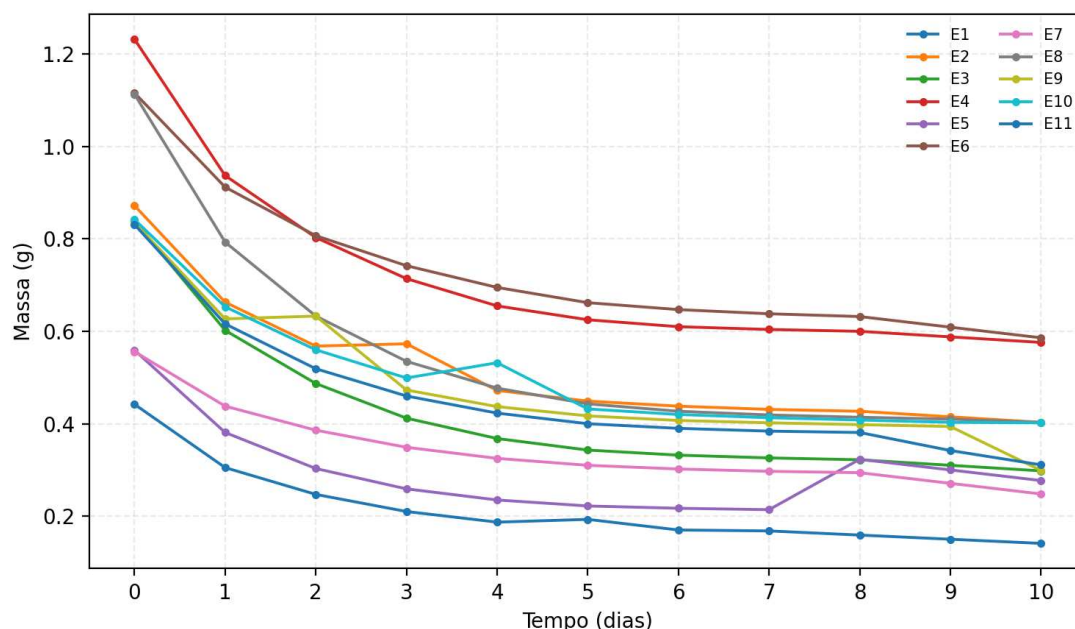
A Figura 8 apresenta a variação da massa dos biofilmes ao longo dos 10 dias de ensaio. De forma geral, a maior redução de massa ocorreu nos primeiros dias, principalmente entre o primeiro e o quinto dia. Depois disso, a maioria das formulações apresentou uma tendência de estabilização, com perdas menores até o décimo dia.

Esse comportamento sugere que, no início do ensaio, as partes mais frágeis e solúveis dos biofilmes foram degradadas ou removidas com mais facilidade. Com o passar dos dias, a parte restante do material passou a se degradar de forma mais lenta.

Também é possível observar que os ensaios com maior massa inicial, como os Ensaio 4, 6 e 8, permaneceram com massas finais mais elevadas durante todo o experimento. No entanto, para avaliar a biodegradabilidade, o mais importante não é observar apenas a massa final, mas sim a porcentagem de massa perdida.

Por exemplo, os Ensaio 6 e 8 começaram o experimento com massas próximas. Porém, o Ensaio 8 apresentou uma redução mais intensa, chegando a 0,403 g ao final do ensaio, enquanto o Ensaio 6 terminou com 0,586 g. Isso mostra que a composição da formulação teve influência direta no processo de biodegradação.

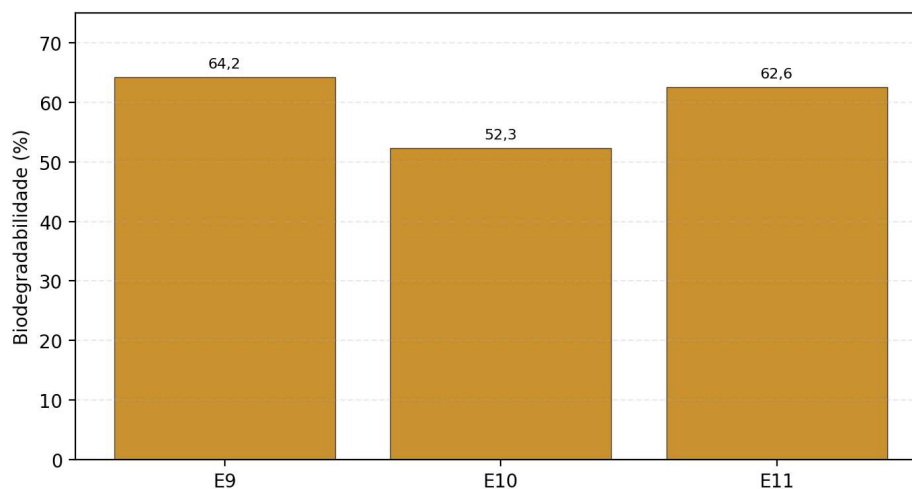
Figura 8. Variação da massa dos biofilmes durante 10 dias de biodegradação em solo.



Fonte: Próprio Autor (2026).

Os Ensaios 9, 10 e 11 correspondem ao ponto central do planejamento experimental, ou seja, possuem a mesma formulação, com 4 g de amido e 4 g de pectina. Mesmo assim, apresentaram resultados diferentes de biodegradabilidade: 64,2%, 52,3% e 62,6%, respectivamente, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9. Variação da biodegradabilidade entre as repetições do ponto central do DCCR.



Fonte: Próprio Autor (2026)

De modo geral, os resultados mostram que a espessura influencia a perda de massa dos biofilmes. Filmes mais finos tendem a degradar com maior facilidade, pois apresentam menor quantidade de material e maior facilidade de contato com o solo. No entanto, a espessura não explica sozinha todos os resultados obtidos.

A composição também teve papel importante, principalmente a proporção entre amido e pectina. As formulações com maior presença de pectina apresentaram, em geral, maiores perdas de massa. Já as formulações com maior teor de amido apresentaram maior resistência à degradação. Dessa forma, a biodegradabilidade dos biofilmes depende tanto da quantidade de material presente quanto da forma como o amido e a pectina estão distribuídos na matriz do filme.

Ao comparar os resultados deste trabalho com outros estudos da literatura, observa-se que os valores encontrados foram semelhantes aos de outros filmes biodegradáveis feitos com polissacarídeos. Pereira et al. (2021), por exemplo, observaram cerca de 90% de biodegradação em filmes de pectina após 21 dias em solo. Neste estudo, a maior perda de massa foi de 68,1% em apenas 10 dias, o que mostra que os biofilmes produzidos apresentaram degradação considerável logo no início do contato com o solo.

Malekzadeh, Tatari e Dehghani Firouzabadi (2024) avaliaram filmes de amido e nanocelulose e encontraram biodegradabilidade entre 35% e 67% após 30 dias em solo. Comparando com este trabalho, os resultados obtidos, entre 47,5% e 68,1% em 10 dias, ficaram dentro ou até acima dessa faixa. Syuhada et al. (2020), ao estudarem bioplásticos de quitosana com amido de casca de mandioca, também observaram perda de massa de até 63%, valor próximo ao encontrado em alguns ensaios deste estudo, como os Ensaios 3, 8, 9 e 11.

Essas comparações mostram que os biofilmes produzidos com amido do mesocarpo do coco babaçu e pectina apresentaram bom desempenho biodegradável quando comparados a outros materiais semelhantes. Além disso, os resultados confirmam que fatores como tipo de solo, composição do filme, espessura e quantidade de material podem influenciar diretamente a perda de massa.

Portanto, os resultados indicam que os biofilmes à base de pectina e amido do mesocarpo do coco babaçu possuem potencial para o desenvolvimento de bioplásticos

biodegradáveis. A perda de massa observada em todas as formulações mostra que os materiais foram degradados no solo, enquanto as diferenças entre os ensaios demonstram que a proporção entre amido e pectina é um fator importante para controlar a espessura, a estabilidade e a velocidade de degradação dos biofilmes.

3.1. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Apesar dos resultados obtidos indicarem potencial de biodegradação dos biofilmes produzidos, algumas limitações devem ser consideradas. A primeira limitação está relacionada ao tempo de avaliação, uma vez que o ensaio foi conduzido durante 10 dias. Esse período permite observar a perda de massa inicial e o comportamento preliminar dos materiais em contato com o solo, mas ainda é insuficiente para confirmar a degradação completa ou o comportamento do material em prazos mais longos.

Outra limitação importante é que a biodegradabilidade foi avaliada principalmente pela perda de massa. Embora esse parâmetro seja útil para indicar desintegração e redução do material, ele não comprova, de forma isolada, a mineralização total do biofilme. A perda de massa pode estar associada à dissolução de componentes, à fragmentação do material, à remoção de frações solúveis ou à aderência e remoção de partículas durante o manuseio. Portanto, para confirmar a biodegradação completa, seriam necessárias análises complementares, como emissão de CO_2 , atividade microbiana, caracterização dos resíduos remanescentes e avaliação da formação de fragmentos.

Também deve ser considerada a influência das condições do solo utilizado. Embora o ensaio em solo seja relevante por aproximar o material de uma condição ambiental real, fatores como umidade, pH, temperatura, teor de matéria orgânica, composição microbiológica e compactação do solo podem alterar a velocidade de degradação. Como essas variáveis não foram completamente controladas ou caracterizadas, elas podem ter contribuído para a variação observada entre os ensaios, especialmente no ponto central do planejamento experimental.

Além disso, o procedimento de retirada diária das amostras, limpeza, pesagem e novo enterramento pode introduzir pequenas variações experimentais. A remoção de resíduos aderidos ao filme, a retenção de umidade no material, a perda de pequenos fragmentos durante o manuseio e a presença de partículas de solo podem interferir na

determinação da massa diária. Essa limitação ajuda a explicar diferenças entre formulações semelhantes e entre os ensaios repetidos no ponto central.

Por fim, o estudo concentrou-se principalmente na biodegradabilidade, sem aprofundar outras propriedades importantes para aplicação tecnológica dos biofilmes, como resistência mecânica, elongação, solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água, estabilidade térmica, morfologia da superfície e desempenho em condições reais de uso. Assim, embora os materiais tenham apresentado potencial biodegradável, ainda são necessárias análises adicionais para verificar sua viabilidade como substitutos de plásticos convencionais em aplicações específicas.

3.2. TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o tempo de avaliação da biodegradabilidade para períodos superiores a 10 dias, como 21, 30, 60 e 90 dias. A ampliação do período experimental permitiria acompanhar a continuidade da degradação, identificar se ocorre estabilização da perda de massa e verificar se as formulações atingem níveis mais elevados de decomposição ao longo do tempo.

Também é recomendável realizar ensaios em diferentes ambientes de degradação, como solo natural, solo controlado, compostagem doméstica, compostagem industrial e ambientes com diferentes níveis de umidade. A comparação entre ambientes permitiria compreender melhor o comportamento dos biofilmes em distintas condições de descarte e aproximaria os resultados das possíveis formas de destinação final do material.

Outra etapa importante consiste na adoção de métodos complementares para confirmação da biodegradação, especialmente ensaios de mineralização por liberação de CO₂, análise da atividade microbiana e caracterização dos resíduos após o processo degradativo. Essas análises permitiriam diferenciar perda de massa, desintegração física e biodegradação efetiva, fortalecendo a interpretação dos resultados.

Recomenda-se, ainda, caracterizar os biofilmes antes e após o ensaio de biodegradação por técnicas físicas, químicas e morfológicas. Entre as análises possíveis, destacam-se microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), análise térmica, difração de raios X,

solubilidade em água, absorção de umidade, permeabilidade ao vapor de água e ensaios de resistência mecânica. Esses testes ajudariam a compreender como a matriz de amido e pectina se modifica durante o contato com o solo.

Também é pertinente avançar na otimização das formulações, utilizando o próprio planejamento experimental para identificar combinações que conciliem boa biodegradabilidade, integridade visual, facilidade de manuseio e propriedades mecânicas adequadas. Nesse sentido, a proporção entre amido, pectina, glicerol e cloreto de cálcio pode ser ajustada para produzir filmes com maior equilíbrio entre desempenho e degradação ambiental.

Por fim, pesquisas futuras podem avaliar a aplicação dos biofilmes em usos específicos, como embalagens biodegradáveis de curta duração, filmes para proteção de alimentos secos, revestimentos ou materiais descartáveis de baixo impacto ambiental. Para isso, será necessário comparar os biofilmes com materiais comerciais, avaliar custo de produção, escalabilidade, estabilidade durante o armazenamento e possíveis impactos ambientais ao final do ciclo de vida.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que os biofilmes produzidos à base de pectina e amido extraído do mesocarpo do coco babaçu apresentam potencial para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis. A combinação desses biopolímeros mostrou-se uma alternativa relevante para a produção de bioplásticos, especialmente por utilizar matéria-prima de origem vegetal e por permitir a formação de filmes com características adequadas ao estudo da biodegradabilidade. Dessa forma, o trabalho contribui para a busca por materiais mais sustentáveis e reforça a importância de novas pesquisas sobre formulações biodegradáveis a partir de recursos naturais.

REFERÊNCIAS

AHSAN, W. A.; HUSSAIN, A.; LIN, C.; NGUYEN, M. K. Biodegradation of different types of bioplastics through composting: a recent trend in green recycling. **Catalysts**, Basel, v. 13, n. 2, artigo 294, 2023.

ARARUNA, F. O. S. **Amido de mesocarpo de *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng. (Babaçu) na fabricação de filmes cicatrizantes**. 2021. 100 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

AROOJ, A.; KHAN, M.; MUNAWAR, K. S. Preparation and physicochemical characterization of starch/pectin and chitosan blend bioplastic films as future food packaging materials. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 1, artigo 111825, 2024.

BORGES, L. A. et al. Babassu mesocarp: a sustainable source for obtaining starch and new products. **Starch/Stärke**, v. 75, n. 7-8, 2023.

BORRELLE, S. B. et al. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. **Science**, v. 369, n. 6509, p. 1515-1518, 2020.

CUCINA, M. et al. The role of waste management in reducing bioplastics' leakage into the environment: a review. **Bioresource Technology**, v. 337, artigo 125459, 2021.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Bioplastics. Berlin: European Bioplastics, 2025.

FOLINO, A. et al. Biodegradation of wasted bioplastics in natural and industrial environments: a review. **Sustainability**, v. 12, n. 15, artigo 6030, 2020.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, e1700782, 2017.

LOPES, I. A. et al. Characterization of pectin biofilms with the addition of babassu mesocarp and whey protein concentrate. **American Journal of Materials Science**, v. 7, n. 3, p. 64-70, 2017.

MALEKZADEH, E.; TATARI, A.; DEGHANI FIROUZABADI, M. Effects of biodegradation of starch-nanocellulose films incorporated with black tea extract on soil quality. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, artigo 18817, 2024.

MANIGLIA, B. C.; TESSARO, L.; LUCAS, A. A.; TAPIA-BLACIDO, D. R. Bioactive films based on babassu mesocarp flour and starch. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 383-391, 2017.

MANIGLIA, B. C.; TESSARO, L.; RAMOS, A. P.; TAPIA-BLACIDO, D. R. Which plasticizer is suitable for films based on babassu starch isolated by different methods? **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 143-152, 2019.

MOURA, C. V. R. et al. New biodegradable composites from starch and fibers of the babassu coconut. **Polímeros**, v. 31, n. 1, e2021007, 2021.

OTHMAN, S. H. et al. Biodegradability of starch nanocomposite films containing different concentrations of chitosan nanoparticles in compost and planting soils. **Coatings**, v. 13, n. 4, artigo 777, 2023.

PEREIRA, D. G. M.; VIEIRA, J. M.; VICENTE, A. A.; CRUZ, R. M. S. Development and characterization of pectin films with *Salicornia ramosissima*: biodegradation in soil and seawater. **Polymers**, v. 13, n. 16, artigo 2632, 2021.

RUGGERO, F.; GORI, R.; LUBELLO, C. Methodologies to assess biodegradation of bioplastics during aerobic composting and anaerobic digestion: a review. **Waste Management & Research**, v. 37, n. 10, p. 959-975, 2019.

SANTANA, A. A.; KIECKBUSCH, T. G. Physical evaluation of biodegradable films of calcium alginate plasticized with polyols. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 4, p. 835-845, 2013.

SIKORSKA, W. et al. Degradability of polylactide and its blend with poly[(R,S)-3-hydroxybutyrate] in industrial composting and compost extract. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 101, p. 32-41, 2015.

SYUHADA, M.; SOFA, S. A.; SEDYADI, E. The effect of cassava peel starch addition to bioplastic biodegradation based on chitosan on soil and river water media. **Biology, Medicine, & Natural Product Chemistry**, v. 9, n. 1, p. 7-13, 2020.