

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Desenvolvimento de bioplástico utilizando amido de mandioca e borra de café como reforço para aplicação em impressão 3D

ADRIANA B. NORCINO¹, RAFAELA N. S. TRINDADE²

¹ Doutora em Engenharia Mecânica, Coordenadora do Projeto, IFSP, Campus Matão adriananorcino@ifsp.edu.br

²Graduanda em Engenharia de Energias Renováveis, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Matão, rafaela.trindade@aluno.ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.06.01.03-1 Físico-Química Orgânica

RESUMO:

Este projeto propõe o desenvolvimento de um bioplástico biodegradável com base em amido de mandioca e reforçado com microfibras de celulose provenientes da borra de café, visando sua aplicação em filamentos próprios para a impressora 3D. Assim foram formulados biofilmes usando diferentes proporções de amido e plastificante (glicerina e sorbitol), e avaliados os parâmetros físico-químicos e mecânicos, comparação posterior e teste do grau de biodegradabilidade. Concluiu-se que a porcentagem dos plastificantes utilizados bem como o tempo de cozimento afetam a transparência e flexibilidade dos biofilmes. Além da forma do reforço utilizado sendo usada a borra ou o óleo de café.

PALAVRAS-CHAVE: Bioplástico; Amido de mandioca; borra de café; filamentos de impressora 3D.

Development of Bioplastic Using Cassava Starch and Coffee Grounds as Reinforcement for 3D Printing Applications

ABSTRACT:

This project proposes the development of a biodegradable bioplastic reinforced with cellulose microfibrils derived from coffee grounds, aimed at application in filaments suitable for 3D printers. Biofilms were formulated using different proportions of starch and plasticizer (glycerin and sorbitol), and their physicochemical and mechanical parameters were evaluated, followed by comparison and testing of biodegradability levels. It was concluded that the percentage of plasticizers used, as well as the cooking time, affect the transparency and flexibility of the biofilms. Additionally, the form of reinforcement, using either coffee grounds or coffee oil, also had an impact.

KEYWORDS: Bioplastic; Cassava starch; Coffee grounds; 3D printer filaments.

INTRODUÇÃO

Os materiais poliméricos, como polietileno e polipropileno, são amplamente utilizados para embalagens descartáveis devido à sua durabilidade e resistência, mas apresentam baixa biodegradabilidade, resultando em graves impactos ambientais (Callister, 2000; Arvanitoyannis & Biliaderis, 1999; Meneses, Corrales & Valencia, 2007). A busca por alternativas renováveis levou ao desenvolvimento de bioplásticos, sendo o amido uma fonte promissora devido às suas propriedades biodegradáveis e ao baixo custo. Filmes de amido, especialmente os de mandioca, têm sido explorados como uma solução sustentável, embora apresentem limitações mecânicas que requerem a adição de

plastificantes e aditivos para aprimorar sua flexibilidade e resistência (Henrique & Cereda, 1999; Parra et al., 2004).

Para melhorar a durabilidade dos bioplásticos, estudos têm investigado a incorporação de microfibras de celulose, como as derivadas de resíduos de café, que conferem maior resistência e propriedades antioxidantes aos biofilmes de amido. A cafeicultura no Brasil, de grande relevância econômica, gera resíduos ricos em celulose e compostos fenólicos, potencialmente úteis na produção de materiais biodegradáveis. Esses aditivos não apenas contribuem para a resistência mecânica dos bioplásticos, mas também são ricos em antioxidantes, o que pode agregar valor ao material final (Mendonça et al., 2005; Sánchez-González et al., 2005).

O estudo atual propõe o desenvolvimento de um bioplástico de amido de mandioca reforçado com microfibras de celulose derivadas do café, visando o uso em filamentos de impressão 3D incorporados ao PLA, ampliando o potencial de uso de materiais biodegradáveis e sustentáveis na manufatura aditiva. Essa abordagem busca combinar sustentabilidade e inovação tecnológica, aproveitando subprodutos agrícolas para mitigar a dependência de polímeros fósseis (Moreira et al., 2000; Veiga-Santos et al., 2007).

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais

Os materiais utilizados no experimento incluíram farinha de mandioca branca fina da marca Síamar e fubá mimoso, que serviram como base para as formulações testadas. Como agentes plastificantes, foram utilizados glicerina a 99,5% de pureza e sorbitol a 70%, ambos escolhidos para modificar as propriedades físicas do bioplástico. Para o preparo e processamento das amostras, foram utilizados um moedor de facas para trituração, uma estufa com circulação de ar para a secagem, e um banho de aquecimento para controlar a temperatura das soluções. Adicionalmente, uma lupa Leica 4EZ HD foi empregada para a análise visual de detalhes das amostras, e béqueres e pipetas foram utilizados para a medição e manuseio precisos dos reagentes durante o processo experimental. Os ensaios foram realizados com 3 repetições cada.

Métodos

Foram testadas diferentes formulações de amido de mandioca, utilizando glicerina e sorbitol com proporções variáveis, e submetidas a dois métodos de aquecimento: agitação em shaker com banho-maria e agitação manual. Na primeira comparação, observou-se que a agitação em shaker não garantiu a homogeneidade necessária, de modo que esse foi excluído como método de preparação. Por outro lado a preparação com banho - maria e agitação manual apresentou filmes homogêneos, sendo o método escolhido para os ensaios. De modo a atingir um filme com boa espessura, flexibilidade e transparência, diferentes formulações de glicerina, amido e água foram testadas. Além do tempo de cozimento que variou de uma a cinco horas. De forma a contribuir com a homogeneidade da mistura, a farinha de mandioca passou pelo processo de moagem no moinho de motor modelo MA-090Cf com uma peneira de granulometria de 10mm. As melhores condições são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais formulações com a glicerina e sorbitol e suas composições

Principais formulações com glicerina				Principais formulações com sorbitol			
Condição	Amido (g)	Glicerina (mL)	Tempo de cozimento (h)	Condição	Amido (g)	Sorbitol (mL)	Tempo de cozimento (h)
20g15ml	20	15	3	10g30ml	10	30	2

20g10ml	20	10	3	10g40ml	10	40	2
18g10ml	18	10	3	20g40ml	20	40	2
15g20ml	15	20	3	20g50ml	20	50	2

Fonte: Própria autora.

Da Tabela 1, nota-se que o tempo de cozimento é diferente para cada plastificante utilizado. O tempo de cozimento quando o agente plastificante utilizado é a glicerina é de cerca de 3h, ao passo que para o sorbitol o tempo diminui em cerca de 1h. Após o cozimento, os biofilmes foram secos em uma estufa com circulação de ar por 12 horas a 40°C. Durante o processo de secagem foram observados que alguns filmes ficaram quebradiços como os que continham 20g40ml(sorbitol) e 20g50mL(sorbitol), ou pegajosos 18g10mL(glicerina) e 20g15mL(glicerina) fazendo com que a temperatura de secagem fosse aumentada entre 50° a 60°C e/ ou o tempo de secagem fosse aumentado para até 16 horas, conforme Tabela 2. Cabe ressaltar que houve o monitoramento das amostras de hora em hora de forma a verificar se os filmes ainda estavam úmidos ou ressecados.

Tabela 2 - Tempo de secagem e temperatura para as formulações com glicerina e sorbitol

Glicerina			Sorbitol		
Formulações	Tempo de secagem(h)	Temperatura (°C)	Formulações	Tempo de secagem(h)	Temperatura (°C)
20g15ml	16	60	10g30ml	12	60
20g10ml	12	40	10g40ml	12	40
18g10ml	16	50	20g40ml	16	60
15g20ml	12	40	20g50ml	16	60

Fonte: Própria autora.

Posteriormente, foi adicionado a borra de café moída e tratada sob as condições apresentadas na Tabela 3(a). Para fins de comparação, também foram realizados testes com o óleo extraído da borra de café, Tabela 3(b), utilizando etanol e hexano como solvente.

Tabela 3 - (a) Condições de tratamento e proporções da borra de café

Tempo de secagem ao ar livre(h)	12
Tempo de secagem (h) (estufa)	8
Temperatura da estufa(°C)	70
Proporções utilizadas(em gramas)	10, 5, 2 e 1
Granulometria da peneira do moinho(mm)	10

Fonte: Própria autora.

Tabela 3 - (b) Solventes e proporções utilizadas de óleo extraído da borra de café

Solvente	Proporções utilizadas(mL)
Hexano(99%)	5
Etanol(combustível)	3
	2
	1
	0,5

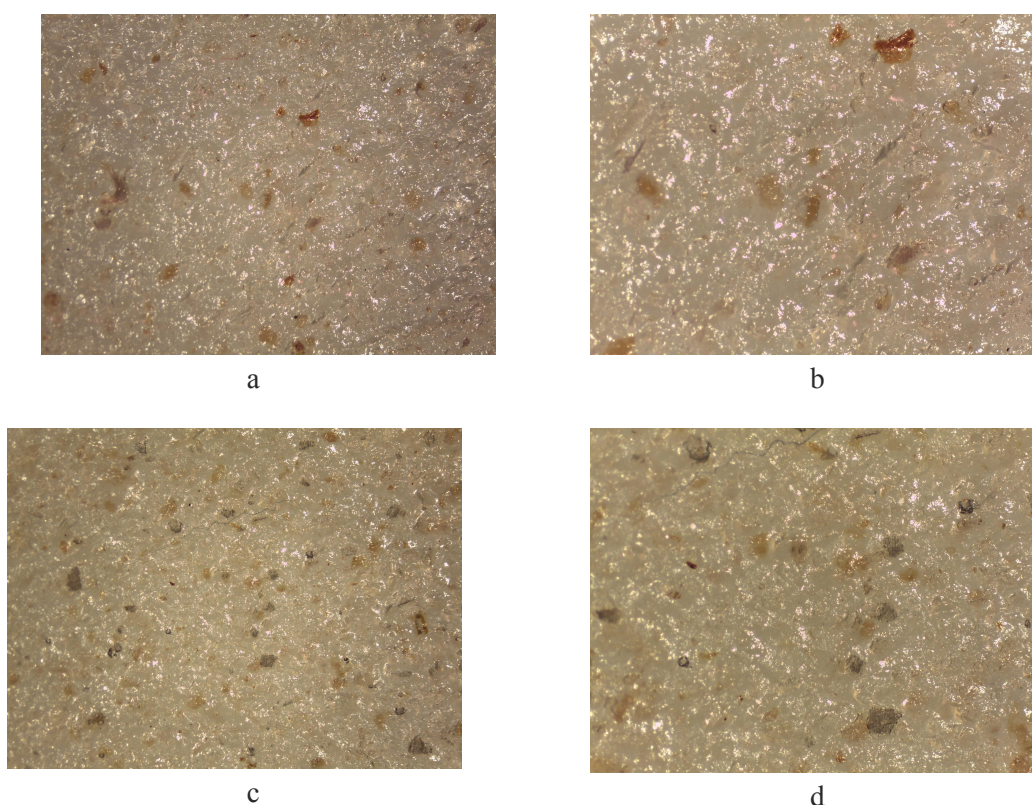
Fonte: Própria autora.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados

Ao todo foram selecionadas quatro formulações de cada reagente conforme a Tabela 1: Sorbitol 10g30mL, 10g40mL, 20g40mL, 20g50mL e para Glicerina 20g15mL, 20g10mL, 18g15mL, 15g20mL A Figura 1 apresenta as imagens feitas na Lupa Leica 4EZ HD dos biofilmes com ampliação de 10x e 20x.

Figura 1 - Amostras com Glicerina: (a)15g20mL(3)10x; (b)15g20mL(3)20x;com Sorbitol (c)20g50mL; (d)20g50mL.



Fonte: Própria autora.

As amostras com 10g, 5g, 2g, e 1g de borra de café moído não apresentaram resultados viáveis pois os filmes ficaram quebradiços e houve grande redução em seu tamanho. Ao passo que nas amostras com óleo de café não foi notado tais condições, e ainda apresentaram um aspecto mais homogêneo e menos rugoso, portanto apresentando resultados mais promissores.

A espessura dos filmes foram medidas com um paquímetro digital. Foram feitas cinco medições em diferentes regiões das amostras de forma a verificar se variação da espessura ao longo dos filmes conforme método utilizado. Para as amostras com glicerina foi observado uma média geral de 0,5mm de espessura com um desvio padrão médio de 0,055mm. Já para as amostras contendo sorbitol, a média geral de espessura foi de 0,9mm com um desvio padrão médio de 0,14mm.

Discussão

O bioplástico desenvolvido a partir de amido de mandioca reforçado com microfibras de celulose extraídas de borra de café representa um passo importante no caminho ao desenvolvimento de materiais mais ecológicos e sustentáveis. Embora mais investigações sejam exigidas, os resultados iniciais mostram que esses materiais têm a perspectiva de substituir plásticos convencionais em muitas áreas; como manufatura aditiva e embalagens sustentáveis.

CONCLUSÃO

Os bioplásticos são uma alternativa ecológica aos polímeros tradicionais derivados do petróleo, que são geralmente utilizados devido à sua biodegradabilidade relativamente baixa. Por meio da exploração do potencial do amido e da formulação de misturas com plastificantes, glicerina e sorbitol, os pesquisadores foram capazes de aprimorar as características dos biofilmes e de torná-los mais resistentes, menos quebradiços e mais adequados para diversas aplicações.

Ademais, o reforço de resíduos agrícolas, como microfibras de borras de café, aumenta as qualidades térmicas e mecânicas dos bioplásticos, assim como a economia circular e a reciclagem industrial, destacando os resíduos orgânicos e minimizando o impacto ambiental de sua produção. No entanto, ainda existem desafios, como a otimização das fórmulas e proporções, controle de pureza dos ingredientes e de condições de preparação e secagem, que precisam ser superados para melhorar as qualidades e competitividade desses materiais.

Por fim, o desenvolvimento destes bioplásticos representa uma importante conquista na substituição de plásticos tradicionais, enquanto promove o desenvolvimento mais ecológico e sustentável para a indústria.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

A.B.N contribuiu com a metodologia, administração do projeto, redação do manuscrito original, redação - revisão e edição. R.N.S.T. colaborou com a análise de dados, pesquisa e redação do manuscrito original.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão a todos que colaboraram para a concretização deste projeto. Agradecemos especialmente ao graduando em Licenciatura em Química Carlos Eduardo C. Dos Santos e a Dra. em Licenciatura em Jane Karla F. B. Machado do Instituto Federal de São Paulo, Campus Matão que foram cruciais para a realização deste estudo.

Também expressamos nossa gratidão ao Instituto Federal de São Paulo, aos nossos colegas e colaboradores pelas valiosas contribuições e sugestões, que enriqueceram este projeto com suas habilidades e vivências. Também expressamos nosso agradecimento aos nossos orientadores e à equipe técnica pelo apoio constante e orientação em todas as fases deste projeto.

Por fim, expressamos nossa gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram e estimularam a conclusão deste estudo.

REFERÊNCIAS

ARVANITOYANNIS, Ioannis S.; BILIADERIS, Costas G. Physical properties of edible films derived from gelatin, sodium caseinate and various polysaccharides blends. **Carbohydrate Polymers**, v. 39, n. 4, p. 261-271, 1999.

CALLISTER, William D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 5. ed. New York: Wiley, 2000.

Henrique, M. C., & Cereda, M. P. Avaliação da aplicação de filmes biodegradáveis de amido em produtos alimentícios. *In: Cereda, M. P. (Org.)*. Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas latino-americanas. São Paulo: Fundação Cargill, 1999. v. 3, p. 234-259.

Mendonça, D. A., Costa, T. H., & Pimenta, A. S. Uso de microfibras de celulose derivadas de resíduos agroindustriais na produção de biocompósitos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 10, n. 2, p. 101-112, 2005.

Moreira, R. G., Oliveira, E. J., & Gonçalves, J. P. Aplicação de biopolímeros na manufatura aditiva: integração de PLA com amido de mandioca. **Revista Brasileira de Materiais**, v. 5, n. 3, p. 230-242, 2000.

Parra, D. F., Tadini, C. C., Ponce, P., & Lugão, A. B. Caracterização de filmes de amido de mandioca: influência do plastificante e do teor de amilose. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 123-127, 2004.

Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M.. Uso de aditivos antioxidantes em biofilmes de amido reforçados com celulose. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 7, p. 1149-1156, 2005.

Veiga-Santos, P., Oliveira, L. M., Cereda, M. P., & Scamparini, A. R. P. Propriedades de filmes biodegradáveis de amido de mandioca: efeito da adição de celulose microcristalina. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 4, p. 232-239, 2007.