

ESPUMAS DE FÉCULA DE MANDIOCA COM FIBRAS NATURAIS

N. Naime^{1,2}, A. J. C. Brant^{1,2}, A. B. Lugão² e P. Ponce^{1,2}

1- BIO&GREEN Indústria de Produtos Biodegradáveis Limitada
Rua Pelotas, 557-A

04012-002 São Paulo, SP

2- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)

Av. Professor Lineu Prestes 2242

05508-000 São Paulo, SP

xunaime@bioegreen.com.br

RESUMO

As embalagens feitas de amido ou fécula são totalmente biodegradáveis, possuem boas propriedades mecânicas e um preço competitivo no mercado, porém são totalmente sensíveis à água. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da incorporação de diferentes tipos de fibras (provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, curauá e casca de café) às embalagens de fécula de mandioca tipo espuma quanto à biodegradabilidade e às propriedades mecânicas e de barreira. A adição das fibras de cana-de-açúcar, curauá e casca de café (1) diminuiu a capacidade das espumas de fécula de mandioca de absorverem água, (2) praticamente não influenciou no tempo de degradação das espumas de fécula por perda de massa e (3) diminuiu a flexibilidade e a resistência das espumas à compressão. A embalagem de poliestireno expandido (isopor) mostrou ser menos resistente à compressão, porém mais flexível do que as embalagens de fécula de mandioca.

Palavras-chave: biodegradável, embalagem, espuma, fécula, fibras, mandioca.

INTRODUÇÃO

A cada dia cresce o interesse em desenvolver embalagens biodegradáveis capazes de substituir os plásticos convencionais sintéticos não-biodegradáveis, como é o caso, por exemplo, do poliestireno expandido (isopor). A mandioca (*Manihot esculenta* crantz) é um dos vegetais mais cultivados no mundo, sendo o Brasil um dos principais países produtores⁽¹⁾. O amido, ou fécula, é o constituinte mais abundante das raízes de mandioca. O amido é um dos polímeros naturais mais estudados⁽²⁾⁽³⁾ e tem sido utilizado na produção de espumas devido ao seu baixo custo, baixa densidade, baixa toxicidade e biodegradabilidade⁽⁴⁾. Segundo Xu et al.⁽⁵⁾, espumas de amido podem ser produzidas por várias técnicas, incluindo extrusão ou cozedura por molde quente. As embalagens obtidas a partir de espumas de fécula de mandioca têm boas propriedades mecânicas e um preço

competidor no mercado, além de serem totalmente biodegradáveis – levam de 1 a 3 meses para se degradarem sem deixar resíduos. No entanto, as propriedades hidrofílicas do amido são um obstáculo para usos mais amplos, especialmente em embalagens de alimentos, pois produtos molhados (como frutas e vegetais) não podem ser embalados em bandejas de amido, devido à sua baixa resistência à água⁽⁶⁾. Compósitos reforçados por fibras vegetais têm sido estudados em várias aplicações e revisados por muitos autores, porque eles têm excelentes propriedades específicas, tais como alta resistência, peso reduzido e boas propriedades de barreira. As fibras naturais são abundantes na natureza e, frequentemente, são resíduos de vários processos industriais. Por exemplo, a fibra do bagaço da cana-de-açúcar, que é um resíduo pouco valorizado pelas indústrias de açúcar e álcool no Brasil, é queimada nos campos como forma de descarte. A fibra do bagaço de cana-de-açúcar é composta de cerca de 40-50% de celulose⁽⁷⁾⁽⁸⁾. Já a fibra de curauá, extraída das folhas da planta *Ananas erectifolius L. B. Smith*, cultivada na região amazônica, é composta por 73,6% de celulose, 9,9% de hemicelulose, 7,5% de lignina e 0,9% de cinzas⁽⁹⁾. Em 2003, o Brasil produziu 150 toneladas de curauá⁽¹⁰⁾. Com relação ao café, cerca de 60 países tropicais e subtropicais produzem café extensivamente, sendo alguns destes seu principal produto de exportação agrícola⁽¹¹⁾⁽¹²⁾. Aproximadamente 0,18 toneladas de casca são obtidas a partir de 1 tonelada da fruta (café)⁽¹³⁾. As cascas de café contêm 24,5% de celulose, 29,7% de hemicelulose, 23,7% de lignina e 6,2% de cinzas⁽¹⁴⁾.

Neste trabalho, embalagens de fécula de mandioca, do tipo espuma, foram desenvolvidas por extrusão e termoprensagem. Fibras de curauá, casca de café e bagaço de cana-de-açúcar foram incorporadas à composição das espumas de fécula de mandioca para: (1) diminuir a capacidade das espumas em absorver água; (2) aumentar a resistência das espumas à compressão e a flexibilidade; e (3) estudar o efeito da adição das fibras no tempo de degradação das espumas de fécula de mandioca. Para efeito de comparação foi utilizada embalagem convencional de isopor (poliestireno expandido).

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

- Fécula de mandioca fornecida pela empresa Lorenz; - Glicerina fornecida pela empresa Labsynth Produtos para Laboratórios; - Bagaço de cana-de-açúcar adquirida na usina Rosa S/A Ind. E Com. De Produtos; - Fibra de curauá fornecida pela empresa Pematec Triangel; - Casca de café fornecida pela empresa Saag; - Embalagem convencional de isopor adquirida em supermercado.

Produção das espumas (bandejas) de fécula de mandioca com e sem fibras

As espumas de fécula de mandioca foram obtidas por extrusão e termoprensagem de uma mistura de fécula de mandioca (80%), água (19%) e plastificante (glicerina – 1%). As fibras de curauá, casca de café e bagaço de cana-de-açúcar foram trituradas e adicionadas, separadamente – na concentração de 5% em peso dos sólidos –, à massa. O bagaço de cana-de-açúcar foi a única fibra que passou pelo processo de secagem em estufa, por 3 horas e a uma temperatura de aproximadamente 70°C, devido a sua elevada umidade. A extrusão das massas, com e sem as fibras vegetais, foi realizada em uma extrusora mono rosca equipada com três zonas de aquecimento (60°C / 80°C / 90°C). Após a extrusão, a massa foi prensada em um molde a 190°C no formato de bandeja.

Propriedades mecânicas das espumas – resistência à compressão e flexibilidade

Depois de produzidas, as espumas (bandejas) foram acondicionadas por um mês, a 23°C e 60% de umidade relativa, antes dos testes mecânicos. Para as análises de resistência à compressão e flexibilidade utilizou-se um texturômetro TA.XT2i da Stable Micro Systems com sonda cilíndrica de 36mm de diâmetro e um apoio anular de 63mm de diâmetro. As amostras de espumas (bandejas) de fécula de mandioca foram cortadas em formato retangular (10 cm x 4 cm). Para cada formulação foram utilizadas seis amostras, tirando-se a média no final.

Propriedades de barreira das espumas – capacidade de absorção de água

Depois de produzidas, as espumas (bandejas) foram acondicionadas por um mês, a 23°C e 60% de umidade relativa, antes dos testes de barreira. Nos ensaios de barreira (capacidade de absorção de água) as espumas (bandejas) de fécula de mandioca foram pesadas e nelas adicionamos 300mL de água por 60 segundos à temperatura ambiente. Após este período, o excesso de água foi removido com

auxílio de um pano seco e as bandejas foram pesadas. A capacidade de absorção de água pela espuma foi calculada segundo a Eq. (A), sendo o resultado final uma média de três amostras para cada formulação.

$$\text{Capacidade de absorção de água (\%)} = \frac{\text{massa}_{(u)} - \text{massa}_{(s)}}{\text{massa}_{(s)}} \quad (\text{A})$$

sendo: massa_(u) = massa úmida e massa_(s) = massa seca.

Biodegradabilidade das espumas – por perda de massa

Para determinar o tempo de degradação das espumas de fécula de mandioca foi utilizado o método de perda de massa. Esse método consiste em colocar duas amostras (retangulares: 5,0 cm x 7,0 cm) de cada formulação das embalagens (espumas) dentro de uma porção de terra contida em béqueres devidamente identificados. A cada semana desenterramos as amostras e pesamos em balança digital até sua total degradação. Foram calculadas as médias das massas de cada formulação de espuma, para posterior construção do gráfico Tempo (dias) *versus* Perda de massa (g). Durante o teste, os béqueres contendo as amostras de espumas totalmente enterradas foram armazenados em um armário com circulação de ar, com controle de temperatura (19°C a 21°C) e umidade relativa (70% a 78%). Foi utilizado um solo simulado (terra, areia e esterco bovino) nesses estudos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades mecânicas das espumas – resistência à compressão e flexibilidade

As espumas de fécula de mandioca com e sem as fibras foram submetidas a ensaios mecânicos com o objetivo de verificar se a incorporação destas fibras melhorou suas propriedades mecânicas. Para efeito de comparação, determinamos a força de compressão e a flexibilidade da embalagem convencional de isopor. Os resultados são apresentados na Fig. 1.

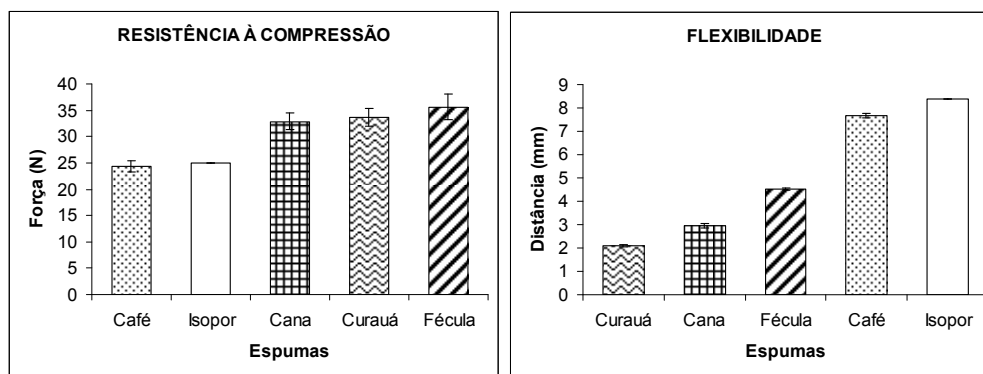


Figura 1. Resistência à compressão e flexibilidade do isopor e das espumas de fécula de mandioca com e sem fibras.

Com base na Fig. 1, pode-se verificar que, em geral, a incorporação de fibras às espumas de fécula não melhorou suas propriedades mecânicas – apenas a adição de casca de café fez com que a espuma se tornasse bem mais flexível ($7,67 \pm 0,10$ mm) em relação às espumas de fécula sem fibras ($4,53 \pm 0,03$ mm) e com fibras de curauá ($2,08 \pm 0,05$ mm) e bagaço de cana-de-açúcar ($2,96 \pm 0,10$ mm). A flexibilidade da espuma de fécula de mandioca contendo fibra da casca de café ($7,67 \pm 0,10$ mm), assim como sua resistência à compressão ($24,3 \pm 1,00$ N), apesar de inferiores, são muito próximas às da embalagem convencional de isopor ($8,40 \pm 0,00$ mm e $25,0 \pm 0,00$ N). A espuma de fécula de mandioca sem incorporação de fibras mostrou ser a mais resistente à compressão ($35,6 \pm 2,40$ N) dentre todas as espumas estudadas neste trabalho. De acordo com Rabello⁽¹⁵⁾, quando não há boa adesão entre os componentes, surgem vazios na região interfacial, provocando a fragilização do material. As espumas contendo bagaço de cana-de-açúcar ($32,9 \pm 1,60$ N) e fibra de curauá ($33,6 \pm 1,70$ N) são mais resistentes à compressão do que as espumas de poliestireno expandido (isopor) – Fig. 1.

Propriedades de barreira das espumas – capacidade de absorção de água

Produtos à base de amido possuem elevada sensibilidade à água, impedindo seu uso em algumas aplicações, como, por exemplo, em embalagens para alimentos que eliminem água. De acordo com Guan & Hanna⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾, fibras celulósicas podem reduzir a sensibilidade à umidade das espumas de amido, atuando como agentes hidrofóbicos. A Tab. 1 apresenta os resultados da capacidade de absorção de água pela embalagem convencional de isopor e pelas espumas de fécula de mandioca com e sem fibras.

Tabela 1. Capacidade de absorção de água do isopor e das espumas produzidas.

Espumas	Capacidade de absorção de água ± Erro (%)*
Isopor	3,42 ± 0,05
Curauá	16,8 ± 0,20
Café	19,0 ± 1,00
Can-de-açúcar	21,3 ± 1,20
Fécula	23,7 ± 2,60

*Adição de 300 mL de água por 60 segundos

Como já era esperado, as espumas de fécula de mandioca absorveram muito mais água em relação à da embalagem convencional de isopor (poliestireno expandido) e às contendo fibras. A incorporação de fibras melhorou as propriedades de barreira das espumas de fécula, ou seja, diminuiu sua sensibilidade à água. A capacidade de absorção de água variou para cada tipo de fibra incorporada à espuma de fécula – já que as fibras vegetais possuem composições diferentes, principalmente quanto à celulose. A fibra de curauá, composta por 73,6% de celulose⁽⁹⁾ foi a mais eficiente de todas as fibras aqui estudadas, reduzindo a capacidade de absorção de água em 6,9%, em relação às espumas de fécula sem fibras. Em seguida, classificam-se as fibras com teores inferiores de celulose aos da fibra de curauá: as da casca de café e bagaço de cana-de-açúcar em ordem crescente de absorção de água. Estes resultados estão de acordo com os de Lui & Peng⁽¹⁸⁾ e Cinelli et al.⁽¹⁹⁾, os quais encontraram comportamento similar para materiais biodegradáveis incorporados com PVA (poli-vinil álcool) e fibras vegetais. Sobre o efeito das fibras nas espumas, o aumento da fase cristalina de um material semi-cristalino, como o amido, é conhecido por estar altamente relacionado com a diminuição de absorção de umidade⁽²⁰⁾.

Biodegradabilidade das espumas – por perda de massa

Na Fig. 2, verifica-se que as espumas de fécula de mandioca sem fibras e aquelas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar e casca de café levaram o mesmo período para completa degradação (42 dias), enquanto que a incorporação da fibra de curauá à espuma de fécula aumentou este período em 28 dias. Isso provavelmente se deve ao fato de a fibra de curauá ser muito mais extensa e mais hidrofóbica em relação às demais fibras estudadas, dificultando, portanto, sua decomposição. Estes resultados não estão de acordo com os de Chiellini et al.⁽²¹⁾. Para estes autores, durante a biodegradação, a presença de fibras induz rápida quebra das espumas devido à ação de microrganismos atraídos por seus componentes lignocelulósicos. Já a embalagem convencional de isopor (poliestireno expandido) não apresentou redução em sua massa durante o período de teste (70 dias). As embalagens de isopor podem levar até 150 anos para se decomporem.

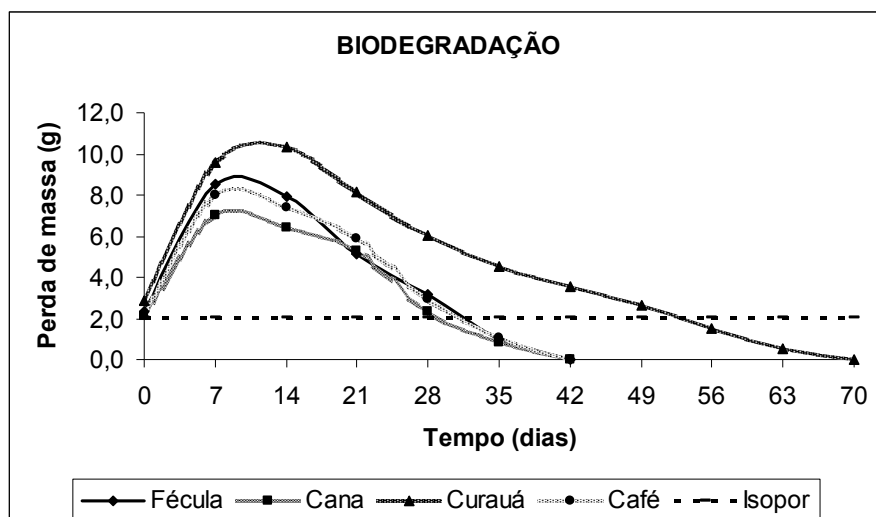


Figura 2. Perda de massa das espumas produzidas.

CONCLUSÕES

A adição das fibras de curauá, bagaço de cana-de-açúcar e casca de café provocou uma melhora nas propriedades de barreira à absorção de água, porém uma piora nas propriedades mecânicas das espumas (bandejas) de fécula de mandioca. Uma solução para aumentar a resistência à compressão das espumas de fécula de mandioca contendo fibras seria o tratamento químico das fibras de forma a promover uma melhor aderência das mesmas à fécula. As propriedades mecânicas de materiais à base de amido podem ser aperfeiçoadas também com a incorporação de cargas minerais em suas formulações.

REFERÊNCIAS

1. BUTARELO, S. S., BELEIA, A., FONSECA, I. C. B. & ITO, K.C. Hidratação de tecidos de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) e gelatinização do amido durante a cocção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, 2004.
2. AVÉROUS, L. & DIGABEL, F. Properties of biocomposites based on lignocellulosic fillers. **Carbohydrate. Polymers**. V.66, p. 480–493, 2006.
3. AVÉROUS, L. & HALLEY, P.J. Review: biocomposites based on plasticized starch. **Biofuel Bioprod. Bior**. V.3, p. 329–343, 2009.
4. STEVENS, E.S., KLAMCZYNSKI, A. & GLENN, G.M. Starch–lignin foams. **Express Polym. Lett**. V.4, p. 311–320, 2010.
5. XU, Y.X., KIM, K.M., HANNA, M.A. & NAG, D. Chitosan–starch composite film: preparation and characterization. **Industrial Crops and Products**. v.21, p. 185–192, 2005.
6. HAN, Y., MANOLACHE, S.O., DENES, F. & ROWELL, R.M. Fluorocarbon barriers on starch foam tray surfaces through SF₆ cold plasma treatment. **Composite Interfaces**, v.16, p. 813–824, 2010.
7. SATYANARAYANA, K.G., ARIZAGA, G.G.C. & WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – an overview. **Progress in Polymer Science**, v.34, p. 982–1021, 2009.
8. SUN, J.X., SUN, X.F., ZHAO, H. & SUN, R.C. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. **Polymer Degradation and Stability**, v.84, p. 331–339, 2004.
9. CARASCHI, J. C., & LEÃO, A. L. Characterization of curaua fibre. **Molecular Crystals and Liquid Crystals**, v.353, p. 149–152, 2001.
10. LEÃO, A. L., SARTOR, S. M., & CARASCHI, J. C. Natural fibres based composites – technical and social issues. **Molecular Crystals and Liquid Crystals**, v.448, p. 161–177, 2006.
11. LASHERMES, P., ANDRADE, A.C. & ETIENNE, H. Genomics of coffee, one of the world's largest traded commodities. In P. H. Moore, & R. Ming (Eds.), **Genomics of tropical crop plants** (p. 203–225). New York: Springer, 2008.
12. VIEIRA, H.D. Coffee: The plant and its cultivation. In M. Souza (Ed.), **Plantparasitic nematodes of coffee** (p. 3–18). Dordrecht: Springer, 2008.

13. ADAMS M.R. & DOUGAN J. Biological management of coffee processing. **Tropical Science; v.123, p. 178–96, 1981.**
14. BEKALO S.A, REINHARDT H.W. Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. **Materials and Structures; v.43, p. 1049–60, 2010.**
15. RABELLO, M. **Aditivação de Polímeros, São Paulo: Editora Artliber, 2000, p. 242, 2000.**
16. GUAN, J. & HANNA, M.A. Functional properties of extruded foams composites of starch acetate and corn cob fiber. **Industrial Crops and Products, v.19, n.1, p. 255–269, 2004.**
17. GUAN, J. & HANNA, M.A. Selected morphological and functional properties of extruded acetylated starch–cellulose foams. **Bioresource Technology v.97, n.14, p. 1716–1726, 2006.**
18. LUI, W.B. & PENG, J., Effects of die shapes and additives on the physical and mechanical properties, and cellular structure of biodegradable cushioning extruded foams. **J. Cell. Plast. v.41, p. 437–455, 2005.**
19. CINELLI, P., CHIPELLINI, E., LAWTON, J.W. & IMAM, S.H. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol). **Polymer Degradation and Stability, v.91, p. 1147–1155, 2006.**
20. CHANG, P., CHEA, P.B. & SEOW, C.C., Plasticizing–antiplasticizing effects of water on physical properties of cassava starch films in the glassy state. **Journal of Food Science, v.65, n.3, p. 445–451, 2000.**
21. CHIPELLINI, E., CINELLI, P., LLIEVA, V.I., IMAM, S.H., LAWTON, J.L., Environmentally compatible foamed articles based on potato starch, corn fiber, and poly(vinyl alcohol). **J. Cell. Plast. v.45, p. 17–32, 2009.**

CASSAVA STARCH FOAMS WITH NATURAL FIBERS

ABSTRACT

Packaging made of starch are completely biodegradable, have good mechanical properties and a competitive market price but they are totally sensitive to water. This study aimed to evaluate the effect of incorporating different types of fibers (from sugarcane bagasse, curauá and coffee husk) in cassava starch packaging (foams) as the biodegradability and mechanical and barrier properties. The addition of

sugarcane, curauá and coffee husk fibers (1) decreased the ability of cassava starch foams to absorb water, (2) did not appreciably affect the degradation time of the starch foams by weight loss and (3) did not improve the mechanical properties of starch foams. With the exception of foam containing coffee husk fiber, expanded polystyrene packaging proved to be less resistant to compression, but more flexible than cassava starch packaging.

Keywords: biodegradable, packaging, foam, starch, fibers, cassava.