



Avaliação da influência da incorporação de diferentes resíduos agroindustriais em filmes à base de amido de mandioca

Cláudia L. Luchese, Patrícia Benelli, Jordana C. Spada, Isabel C. Tessaro

Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ Departamento de Engenharia Química

(claudialuchese@yahoo.com.br; isabel@enq.ufrgs.br)

Resumo

Atualmente, há uma crescente preocupação com a geração de resíduos sólidos urbanos relacionados ao descarte de embalagens não biodegradáveis provenientes de fontes fósseis. O uso de biopolímeros, como o amido, para a produção de embalagens, tem despertado a atenção das empresas nas últimas décadas, devido à sua biodegradabilidade. Além disso, a incorporação de resíduos agroindustriais na produção de embalagens biodegradáveis tem se tornado foco de diversos estudos, visto que essas matérias-primas, apesar de serem, geralmente, ricas em compostos bioativos e fibras, acabam sendo descartadas durante o processamento de alimentos. Neste contexto, avaliou-se o efeito da inclusão de resíduos agroindustriais provenientes do processamento de alimentos, como os bagaços de mirtilo e jabuticaba, casca de pinhão, e tortas de gergelim e linhaça nas propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água de biofilmes produzidos a partir de amido de mandioca pela técnica de *casting*. Através da análise das propriedades mecânicas, foi possível verificar que o filme contendo bagaço de jabuticaba apresentou o maior percentual de elongação de ruptura, enquanto os filmes com resíduo de mirtilo e torta de linhaça apresentaram maiores valores de tensão de ruptura, semelhantes às do filme de PEBD comercial. Os filmes com linhaça e casca de pinhão apresentaram maiores valores de módulo de Young, no entanto, os valores encontrados ainda são inferiores aos filmes comerciais. Avaliando os resultados de permeabilidade ao vapor de água percebe-se que mais estudos são necessários a fim de melhorar as propriedades de barreira.

Palavras-chave: Embalagem. Mirtilo. Jabuticaba. Casca de pinhão. Gergelim. Linhaça.

Área Temática: Tema 13 - Resíduos Sólidos

Evaluation of the influence of different agro-industrial residues incorporation in cassava starch-based films

Abstract

Currently, there is growing concern about the generation of solid waste related to the disposal of non-biodegradable packaging from fossil sources. The use of biopolymers, such as starch for the packaging production has attracted the attention of companies in recent decades, due to its biodegradability. Furthermore, the incorporation of agro-industrial residues in the production of biodegradable packaging has become the focus of numerous studies because these raw materials are generally rich in bioactive compounds and fibers and they are commonly discarded during food processing. In this context, the objective of the present work was evaluate the effect of the inclusion of agro-industrial waste from the food processing, such as blueberry and jabuticaba bagasse, *pinhão* coat, and cakes of sesame and flax seeds on the mechanical and water vapor barrier properties of biofilms produced with cassava starch by the casting technique. Analysis of mechanical properties showed that the film containing jabuticaba residue had the highest percentage of elongation at break, while films with blueberry bagasse and flax seed cake had higher breakdown tension values, similar to commercial LDPE film. Films with flax seed and *pinhão* coat showed higher Young's modulus values, however, these values are lower than commercial films. Evaluating the results of permeability to water vapor it is noticed that more studies are needed in order to improve the barrier properties.

Key words: Packaging. Blueberry. Jabuticaba. Pinhão coat. Sesame. Flax seed.

Theme Area: Theme 13 - Solid Waste



1 Introdução

O mercado de embalagens é um importante setor da indústria e apresenta grandes perspectivas de crescimento. Dados da Associação Brasileira de Embalagens (ABRE, 2014) apresentam uma estimativa de crescimento anual de 2,7 % na produção de embalagens com uma receita líquida de venda de aproximadamente R\$ 51 bilhões em relação ao ano de 2012. No entanto, devido ao crescimento populacional, o uso crescente de plásticos sintéticos como embalagem gera constante preocupação, uma vez que promove um considerável aumento na geração de resíduos sólidos urbanos. Além disso, seu descarte causa um elevado impacto ambiental, pois não são biodegradáveis e consomem grandes quantidades de energia térmica na reciclagem. A dificuldade de reciclagem da maioria das embalagens sintéticas disponíveis, aliada à geração de resíduos, têm incentivado pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de materiais biodegradáveis com características que permitam a sua utilização na indústria (MALI et al., 2010).

Por essas razões, alternativas sustentáveis vêm sendo estudadas para substituir essas embalagens por outras de fontes renováveis e que sejam biodegradáveis, como, por exemplo, a produção de filmes à base de amido. Numerosos estudos têm sido publicados sobre caracterização das propriedades funcionais de filmes de amido, principalmente porque esse biopolímero é uma matéria-prima abundante, não tóxica, biodegradável, possui baixo custo de comercialização e está disponível em todo o mundo (BERTUZZI et al., 2007). Industrialmente, as propriedades mecânicas dos filmes de amido são consideradas mais restritivas, pois, em geral, esses materiais para embalagens devem ser resistentes à ruptura e à abrasão, para proteger e reforçar a estrutura dos produtos e, ainda, devem ser flexíveis, para adaptar-se a possíveis deformações sem se romper (SOBRAL, 2000). Além disso, em virtude da natureza hidrofílica do amido, sua utilização pode limitar o desenvolvimento desse setor. Considerando essas informações, diversas estratégias têm sido pesquisadas com o objetivo de contornar algumas limitações, tornando, os filmes obtidos menos susceptíveis às variações de umidade e mais resistentes. Como exemplo, pode-se citar a incorporação de fibras visto que elas são capazes de melhorar a resistência ao contato com a água, assim como a resistência à tração e a flexibilidade dos filmes (ALVES, 2007).

Durante o processamento de alimentos, cascas, bagaços e tortas provenientes da etapa de prensagem de óleos, contendo elevado teor de fibras e compostos bioativos, são descartados ou utilizados para outros fins produtivos e silagem (LIMA et al., 2008, ALEZANDRO et al., 2013). Esses resíduos representam aproximadamente 30-50 % do peso total da matéria-prima e sua composição apresenta-se como um grave problema ambiental, caracterizada por baixos valores de pHs, elevados teores de compostos fenólicos, antibacterianos e fitotóxicos, fazendo com que esse resíduo necessite de tratamento previamente ao seu descarte de acordo com a legislação ambiental vigente (BUSTAMANTE et al., 2008).

Desta forma, a incorporação de subprodutos na produção de embalagens biodegradáveis permite agregar valor à matéria-prima de forma sustentável, além de minimizar o descarte de resíduos sólidos agroindustriais. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a inclusão de resíduos agroindustriais provenientes do processamento de alimentos, contendo elevado teor de fibras, na produção de embalagens biodegradáveis a partir de amido de mandioca e avaliar suas propriedades mecânicas e de permeabilidade ao vapor de água. Para fins de comparação, um filme à base de policloreto de polivinila (PVC) e um filme de polietileno de baixa densidade (PEBD), atualmente comercializados como embalagens, também foram caracterizados.



2 Materiais e Métodos

O amido de mandioca foi adquirido em Mercado Público na cidade de Natal (RN, Brasil) e o glicerol usado foi de grau PA (Nuclear, SP, Brasil). Os resíduos agroindustriais de mirtilo e jabuticaba foram produzidos de acordo com o fluxograma apresentado nas Figuras 1 e 2, respectivamente. O resíduo em pó da casca do pinhão foi obtido de acordo com o seguinte procedimento: após cozimento das sementes de pinhão, foi realizado seu descascamento; as amostras foram lavadas e a secagem foi realizada à temperatura ambiente. Em seguida, foi realizada a trituração e moagem das cascas usando um moinho de facas; o pó obtido classificado granulometricamente e utilizou-se a fração que passou pela peneira de 100 *mesh* para a produção dos filmes. Os resíduos de gergelim e linhaça foram obtidos após a etapa de prensagem da produção de óleos e foram gentilmente fornecidos pela empresa Pazze Alimentos (Panambi/RS).

Figura 1 - Fluxograma simplificado do processo de obtenção do pó de mirtilo.

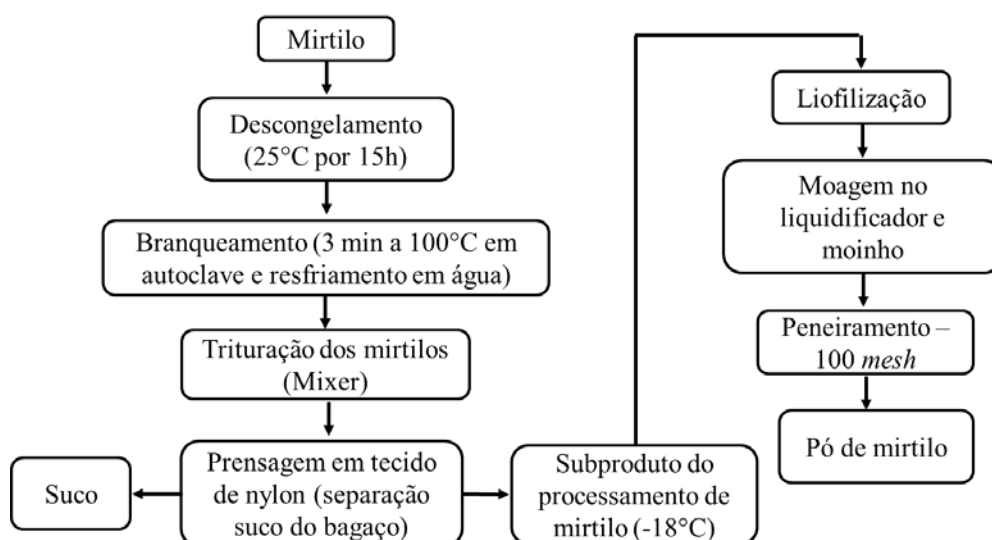
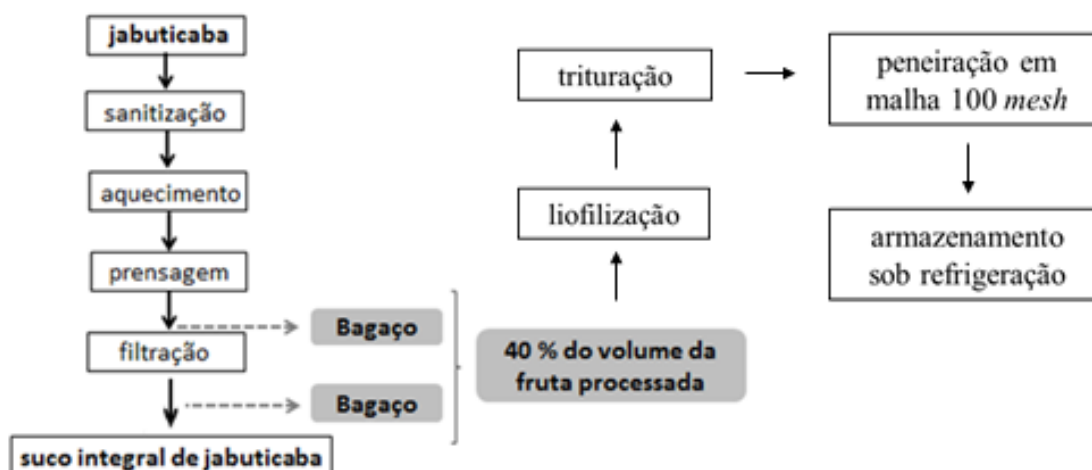


Figura 2 - Fluxograma simplificado do processo de obtenção do pó de jabuticaba.





2.1. Caracterização dos resíduos agroindustriais

2.1.1. Análise de umidade

O conteúdo de umidade foi determinado de acordo com o método AOAC 930.04 (1990).

2.1.2. Análise do teor de fibras

O conteúdo de fibras solúveis e insolúveis foi determinado de acordo com o método AOAC 991.43 (2005). O total de fibras é representado pelo somatório do teor de fibras solúveis e insolúveis.

2.2. Preparo dos filmes

A produção dos biofilmes foi realizada de acordo com a metodologia de Talja et al. (2008), com algumas modificações. Para o preparo das soluções filmogênicas seguiu-se a seguinte formulação: amido de mandioca na concentração 4 g/100 mL, glicerol (1,2 g/100 mL), pó obtido dos resíduos agroindustriais (0,5 g/100 mL) e água. As soluções filmogênicas foram submetidas à agitação mecânica em banho termostático a 80 °C durante 35 min para gelatinização do amido. Após, os filmes foram espalhados em placas de Petry (*casting*, 0,34 g cm⁻²), que foram dispostas em um secador de alimentos (Solab, SL102/100, Brasil) com convecção de ar forçada por 24 h na temperatura de 35 °C.

2.3. Caracterização dos filmes

2.3.1. Análise de espessura

A espessura dos filmes foi medida utilizando um micrômetro digital (Mitutoyo IP 65, Japão) em 5 pontos aleatórios em cada amostra.

2.3.2. Análise de propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes foram avaliadas em texturômetro (Texture analyzer TA.XT2i) de acordo com a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) método D882-12 (ASTM, 2012), que se aplica à determinação das propriedades de tração de filmes com espessura inferior a 1 mm. Os dados fornecidos pelo equipamento correspondem às curvas de tensão *versus* deformação, utilizadas para as medidas das propriedades mecânicas, como a resistência máxima à tração ou tensão de ruptura [TS; MPa], a elongação máxima [E; %], determinada no ponto de ruptura e o módulo de Young ou módulo de elasticidade [MY; MPa]. A deformação é o alongamento relativo da amostra analisada em relação ao seu comprimento inicial. O módulo de elasticidade expressa a relação entre a resistência à tração e à deformação na região elástica do filme (coeficiente angular da reta), sendo, portanto, um indicador de rigidez do filme.

2.3.3. Análise de permeabilidade ao vapor de água

A análise de permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi feita conforme as normas da ASTM (E96-00). A PVA dos filmes foi determinada em triplicata usando a Equação (1):

$$PVA = \frac{w}{tA} \frac{e}{\Delta p} \quad (1)$$

sendo w a massa de água que permeou através do filme (g); e representa a espessura dos filmes (mm); A é a área de permeação (m²); t representa o tempo de permeação (h) e Δp é a diferença de pressão de vapor de água (kPa).

2.4. Análise estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente através do Teste de Tukey no *software* STATISTICA 8.0 (Statsoft Inc., Tulsa, USA) com nível de significância de 95% ($p < 0,05$).



3 Resultados e Discussão

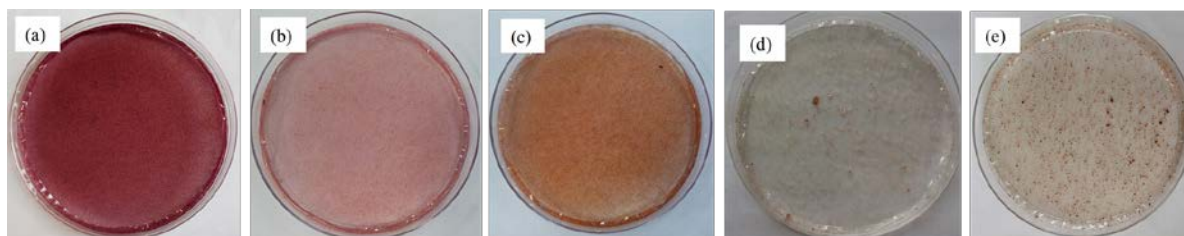
Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da análise de caracterização físico-química dos bagaços de mirtilo e de jabuticaba obtidos a partir do processamento do suco, do pó da casca do pinhão e das tortas de gergelim e linhaça provenientes da etapa de prensagem das sementes para produção de óleos. Verifica-se que os maiores teores de fibras totais foram encontrados para o pó da casca de pinhão (65,6 %) e para o pó de mirtilo (53,5 %), respectivamente. No entanto, o gergelim e o pinhão apresentaram as maiores porcentagens de fibras insolúveis. Altmann e Flores (2014) encontraram 47,5 % de fibras totais no resíduo de mirtilo utilizado para produzir biscoitos tipo cookies e Finco et al. (2009) avaliaram o teor de fibras totais em farinha de gergelim e encontraram aproximadamente 13 %, inferiores aos valores encontrados no presente trabalho. Para o pó da casca do pinhão, o resultado encontrado foi superior ao reportado pelo CETEC (2006), de 53,5 %. Novello e Pollonio encontraram aproximadamente 38 % de fibras totais quando analisaram sementes de linhaça, valor semelhante ao encontrado no presente trabalho.

Tabela 1 – Caracterização físico-química dos resíduos agroindustriais.

Resíduo	Umidade (%)	Fibras solúveis (g/100 g)	Fibras insolúveis (g/100 g)	Total de fibras (g/100 g)
Pó de mirtilo	14,0 ± 0,4	17,9	35,6	53,5
Pó de jabuticaba	11,5 ± 0,2	4,1	16,4	20,5
Pó da casca de pinhão	10,3 ± 0,3	0,5	65,1	65,6
Pó de gergelim	6,9 ± 0,2	0,5	19,8	20,3
Pó de linhaça	8,7 ± 0,1	7,9	25,6	33,5

Na Figura 3 está apresentado o aspecto visual dos filmes de amido de mandioca com a incorporação do pó de mirtilo (a); pó de jabuticaba (b), pó da casca de pinhão (c), pó de gergelim (d) e pó de linhaça (e). Na Figura 4 estão representadas as curvas de tensão *versus* elongação para todos os filmes de mandioca produzidos com a incorporação dos subprodutos da indústria de alimentos.

Figura 3 – Aspecto visual dos filmes de amido de mandioca contendo os pós de mirtilo (a), jabuticaba (b), casca de pinhão (c), gergelim (d) e linhaça (e).



A Tabela 2 apresenta os valores de máxima resistência à tração [TS; MPa], elongação máxima [E; %] e módulo de Young ou módulo de elasticidade [MY; MPa], resultantes da análise de propriedades mecânicas, de acordo com a Figura 4. Verificou-se que os maiores valores de tensão de ruptura foram encontrados para os filmes com incorporação dos pós de linhaça e mirtilo, respectivamente; sendo que os valores encontrados são comparáveis aos do filme de PEBD atualmente comercializado. Verificou-se que todos os filmes produzidos com incorporação do resíduo apresentaram valores de Módulo de Young, ou módulo de elasticidade, superiores aos valores encontrados para o filme de amido (controle),



demonstrando que a inclusão das fibras tornou os filmes mais rígidos. Entretanto, a propriedade de alongação apresentou comportamento diferente, ou seja, todos os filmes com adição do resíduo em pó apresentaram menor percentual de alongação do que o filme de amido usado como controle. Os filmes com incorporação de resíduos apresentaram percentuais de alongação superiores ao filme comercial à base de PVC e valores semelhantes ao filme de PEBD comercial. Entretanto, todos os filmes produzidos apresentaram módulo de elasticidade inferior aos filmes valores encontrados para os filmes comerciais.

Figura 4 – Curvas de tensão *versus* alongação, obtidas no teste de tração, para os filmes de amido de mandioca contendo 0,5 % dos pós dos resíduos da jabuticaba, mirtilo, pinhão, gergelim e linhaça.

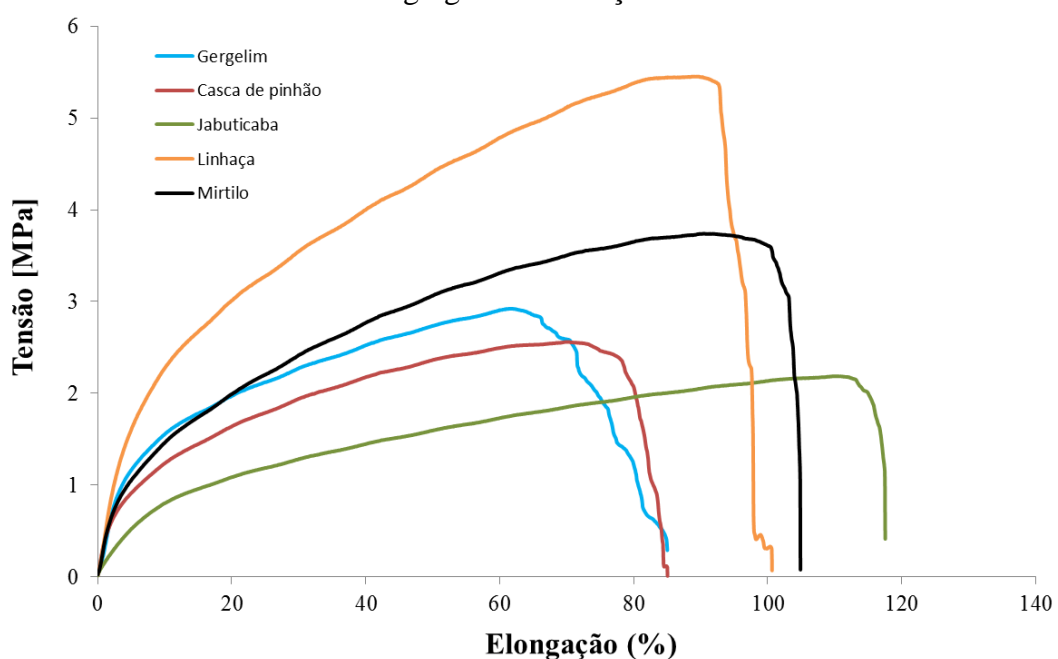


Tabela 2 – Análise de propriedades mecânicas.

Filme	Tensão de ruptura [MPa]	Elongação [%]	Módulo Young [MPa]
Filme de amido (controle)	$2,0 \pm 0,1^F$	166 ± 5^A	8 ± 1^E
Com pó de mirtilo	$3,6 \pm 0,2^{CD}$	84 ± 13^C	33 ± 1^{BC}
Com pó de jabuticaba	$2,1 \pm 0,2^F$	117 ± 11^B	16 ± 6^{DE}
Com pó da casca de pinhão	$2,5 \pm 0,1^{EF}$	73 ± 9^C	36 ± 1^{BC}
Com pó de gergelim	$3,1 \pm 0,1^{DE}$	62 ± 2^{CD}	26 ± 9^{CD}
Com pó de linhaça	$4,8 \pm 0,6^B$	78 ± 10^C	47 ± 7^B
PEBD comercial	$3,9 \pm 0,3^{BC}$	136 ± 37^{AB}	67 ± 8^A
PVC comercial	$17,1 \pm 0,7^A$	45 ± 5^D	77 ± 7^A

* TS = máxima resistência à tração [MPa]; E = alongação máxima (%); MY = módulo de Young ou módulo de elasticidade [MPa]. **Letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as amostras.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise de permeabilidade ao vapor de água para os biofilmes com incorporação dos pós de mirtilo, jabuticaba, casca de pinhão, gergelim e linhaça. Verifica-se que, mesmo após a incorporação dos resíduos agroindustriais,



os filmes de amido de mandioca produzidos ainda possuem propriedades de barreira ao vapor de água muito altas quando comparados aos filmes comerciais de PEBD e PVC. Os maiores valores de permeabilidade foram encontrados para os filmes com linhaça e gergelim, porém, os resultados não foram correlacionados ao teor de fibras. Acredita-se que este fato está relacionado à granulometria dos resíduos em pó utilizados, visto que os mesmos apresentaram diferenças nos tamanhos de partículas, que foram detectadas visualmente.

Tabela 3 – Análise de permeabilidade ao vapor de água.

Filme	Permeabilidade ao vapor de água (g mm h ⁻¹ m ⁻² kPa ⁻¹)
Filme de amido (controle)	0,23 ± 0,03 ^D
Com pó de mirtilo	0,23 ± 0,01 ^D
Com pó de jabuticaba	0,24 ± 0,01 ^D
Com pó da casca de pinhão	0,29 ± 0,03 ^C
Com pó de gergelim	0,52 ± 0,01 ^A
Com pó de linhaça	0,44 ± 0,02 ^B
PEBD comercial	0,003 ± 0,0001
PVC comercial	0,03 ± 0,003

*Letras diferentes na mesma coluna indicam que existe diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as amostras.

4 Conclusão

Filmes à base de amido de mandioca com incorporação de resíduos agroindustriais provenientes do processamento de alimentos foram preparados com sucesso. A partir dos resultados obtidos, pode-se dizer que as formulações contendo mirtilo, jabuticaba e linhaça podem ser consideradas alternativas promissoras para o desenvolvimento de embalagens para alimentos, uma vez que apresentaram propriedades mecânicas comparáveis aos filmes atualmente comercializados. No entanto, mais estudos ainda são necessários a fim de melhorar as propriedades de barreira. A partir dos resultados obtidos, considerando os valores de permeabilidade ao vapor de água, nenhum dos filmes produzidos apresentou características adequadas. Portanto, mais estudos são necessários para melhorar essa propriedade. Ao verificar as propriedades mecânicas, a formulação com pó de jabuticaba apresentou menor potencial devido ao menor valor de módulo de elasticidade e a formulação com pó de gergelim devido ao menor percentual de elongação encontrado.

Referências

- ABRE, 2014. **Associação Brasileira de Embalagens**. Disponível em <http://www.abre.org.br/>, acessado em 03/12/2015.
- ALEZANDRO, M.R.; DUBÉ, P.; DESJARDINS, Y.; LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M. I. *Comparative study of chemical and phenolic composition of two species of jaboticaba: Myrciaria jaboticaba (Vell.) Berg and Myrciaria cauliflora (Mart.) O. Berg*. **Food Research International**, v. 54, p. 468-477, 2013.
- ALTMANN, C.; FLORES, S.H. Caracterização e utilização de fibra obtida a partir do resíduo do processamento de mirtilo. **Salão UFRGS 2014: SIC - XXVI Salão de Iniciação Científica**, UFRGS, Porto Alegre/RS, 2014.



ALVES, V.D. **Produção e caracterização de biomateriais a partir de fibras naturais e amidos com polibutileno adipato co-tereftalato (PBAT)**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

AOAC. *Association of Official Analytical Chemists*. Official Methods of analysis: 930.04. In Moisture content in Plants, 1 p. 40, 1990.

AOAC. *Association of Official Analytical Chemists*. Official Methods of analysis: 991.43. In Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fibre in Food, 2005.

ASTM - *American Society for Testing and Materials* - D882; Annual Book of ASTM Standards, ASTM: Philadelphia, 2012.

ASTM - *American Society for Testing and Materials* - E96; Annual Book of ASTM Standards, ASTM: Philadelphia, 2000.

BERTUZZI, M.A.; ARMADA, M.; GOTTIFREDI J.C. *Physicochemical characterization of starch based films*. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 82, n. 1, p. 17-25, 2007.

BUSTAMANTE, M.A.; MORAL, R., PAREDES, C.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; MORENO-CASELLES, J.; PÉREZ-MURCIAET, M.D. *Agrochemical characterization of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry*. **Waste Management**, p. 372-380, v. 28, 2008.

CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Pinhão manso. Belo Horizonte; 2006.

FINCO, A.M.O.; ANGELO, M.A.; GARMUS, T.T.; BEZERRA, J.R.M.V. *Elaboração de Iogurte com Adição de Farinha de Gergelim*. **Anais do XVIII EAIC** – 30 de setembro a 2 de outubro de 2009.

LIMA, A.J.B.; CORRÊA, A.D., ALVES, A.P.C.; ABREU, C.M.P. & DANTAS-BARROS, A.M. *Chemical characterization of the jabuticaba fruits (*Myrciaria cauliflora* Berg) and their fractions*. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 58, n. 4, p. 416-421, 2008.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; YAMASHITA, F. *Starch films: production, properties and potential of utilization*. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31(1), p. 137-156, 2010.

NOVELLO, D.; POLLONIO, M.A.R. *Caracterização e propriedades da linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e subprodutos*. **B.CEPPA, Curitiba**, v. 29, n. 2, p. 317-330, jul./dez. 2011.

SOBRAL, P.J.A. *Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1-14, 2000.

TALJA, R.A.; HELEN, H.; ROOS, Y.; JOUPPLIA, K. *Effect of type and content of binary polyol mixtures on physical and mechanical properties of starch-based edible films*. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, p. 269-276, 2008.