

# SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILME DE AMIDO PLASTIFICADO COM GLICEROL OU TRIACETINA

**SOARES, Iago Francisco de Oliveira<sup>1</sup>**

Faculdades Integradas Maria Imaculada – FIMI  
*iago-soares92@hotmail.com*

**FAKHOURI, Farayde Matta<sup>2</sup>**

Universidade Federal da Grande Dourados

**GIRALDI, André Luís Ferrari de Moura<sup>3</sup>**

Faculdades Integradas Maria Imaculada - FIMI  
*andreluisgiraldi@gmail.com*

**BUONTEMPO, Rodolfo Cardoso<sup>4</sup>**

Faculdades Integradas Maria Imaculada - FIMI

## RESUMO

Devido ao grande aumento do consumo de embalagens plásticas convencionais no último século e também a baixa velocidade

---

<sup>1</sup> Bacharelado Química Industrial (2014) pelas Faculdades Integradas Maria Imaculada (FIMI).

<sup>2</sup> Engenheira de Alimentos pela UNESP, mestre em Alimentos e Nutrição e doutora em Tecnologia de Alimentos pela UNICAMP. Possui Capacitação Técnica pela Embrapa Agroindústria de Alimentos (EMBRAPA) na área de filmes e revestimentos comestíveis e Pós-doutorado (PNPD) pela UEL, aperfeiçoamento em extrusão reativa na Université de Mons (UMONS). Atualmente é docente da UFGD, Vice-diretora da Faculdade de Engenharia (FAEN), Pesquisadora Colaboradora do Departamento de Engenharia de Materiais e Bioprocessos da FEQ/UNICAMP, integrante do grupo de pesquisa LMEM (UNICAMP), MF BIOPACK (UFGD) e POLIBIOTEC (UEL), supervisora e fundadora da Empresa Júnior de Engenharia de Alimentos da UFGD (EJIPTA).

<sup>3</sup> Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia, mestrado e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2008) na área de Concentração Ciência e Tecnologia de Materiais. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Polímeros: Compósitos e Nanocompósitos poliméricos.

<sup>4</sup> Bacharel em Química pela Universidade Estadual de Campinas, mestre em Engenharia Química pela mesma instituição e também doutorando em Engenharia Química na mesma Universidade. Experiência em síntese, caracterização e formulação de compostos termoplásticos e elastoméricos, com foco em compostos termoplásticos biodegradáveis e biocompatíveis.

de degradação dos mesmos, houve um crescente e significativo acúmulo destes materiais devido ao seu descarte no meio ambiente ou mesmo em lixões; uma alternativa a este acúmulo é a aplicação de materiais de rápida biodegradação em substituição aos polímeros convencionais. Biofilmes são produzidos a partir de materiais biológicos, podendo agir como barreira a elementos externos e protegendo os produtos embalados de danos físicos e/ou biológicos, aumentando assim sua vida útil. O desenvolvimento de biomateriais teve avanços consideráveis na última década; muito destes avanços foram promovidos por um público que busca ter acesso a produtos e alimentos de maior qualidade e imbuído de uma conduta de maior responsabilidade ambiental. Há ainda que considerar que o aumento da demanda por materiais biodegradáveis gera as oportunidades para criar novos mercados a serem supridos por matérias-primas formadoras de biofilmes. Dentro deste contexto o amido é considerado um material promissor no desenvolvimento de bioembalagens. A triacetina e o glicerol apresentam efeito plastificante quando empregado nas baixas concentrações e sob baixos valores de atividade de água. Esse efeito foi demonstrado pelo decréscimo do efeito hidrofílico e da flexibilidade dos filmes nestas condições. Dentre os materiais estudados, os biofilmes de amido plastificado com glicerol demonstraram uma melhor plastificação devido à obtenção de filmes de espessura mais regular e menos espessa e comprovada por uma maior translucidez e uma menor coloração. Os biofilmes de amido puro e amido com triacetina tiveram maior espessura e menor regularidade dimensional. Todos os biofilmes demonstraram grande permeação ao vapor de água e o sistema de plastificação não interferiu de forma significativa nesta propriedade.

**Palavras-chave:** Biofilme. Glicerol. Biodegradável. Triacetina.

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de produção em larga escala de embalagens duráveis, para utilização diária no mercado, fez que os plásticos assumissem um papel de destaque em praticamente todos os seguimentos de produção. Neste cenário atual houve grande interesse na pesquisa e desenvolvimento de materiais

de embalagem biodegradáveis com intuito de diminuir o acúmulo de resíduos plásticos no meio ambiente. Desde 1940, os plásticos mais utilizados são: polietileno, polipropileno, poliestireno, poli (tereftalato de etileno) e poli (cloreto de vinila). Quando descartado, a maior parte destes resíduos é encaminhada para aterros a céu aberto. Estes materiais são de difícil degradação, sendo que alguns exigem mais de 100 anos para degradarem-se totalmente, fato que gera um grande impacto ambiental (ALVES, 2009).

O Brasil produz cerca de 240 mil toneladas de lixo por dia, número inferior ao produzido nos EUA (607.000 toneladas/dia), porém muito superior a países como Alemanha (85.000 toneladas/dia) e a Suécia (10.400 toneladas/dia). No Brasil o índice *per capita* é de 22 quilos, sendo que, dentre todos os estados, os maiores produtores são: São Paulo, Santa Catarina e Rio de Janeiro, respectivamente (SHIMAZU, 2007).

Uma solução parcial para este problema seria a utilização de um material alternativo na fabricação de embalagens. Devido a seu baixo custo de produção e excelente biodegradabilidade, o amido, constitui uma matéria-prima promissora para a produção de plásticos biodegradáveis, também chamados de filmes biodegradáveis (BRASIL, 2013).

Inúmeros estudos têm sido publicados sobre caracterização das propriedades funcionais de filmes a base de amido, principalmente porque o amido é uma matéria-prima abundante e disponível em todo o mundo, apresenta muitas possibilidades de modificação química, física ou genética e origina filmes e revestimentos resistentes (MALI et al., 2004)

O biofilme é produzido a partir de materiais biológicos, agindo como barreira a elementos externos e protegendo o produto embalado de danos físicos e biológicos, aumentando assim sua vida útil. O desenvolvimento destes biofilmes tem avançado consideravelmente, devido ao interesse por alimentos de alta qualidade, à preocupação ambiental e às oportunidades para criar novos mercados para as matérias-primas formadoras de filme, derivadas de produtos agrícolas (REIS et al., 2011).

Como os filmes confeccionados exclusivamente por amido são pouco flexíveis, quebradiços e apresentam baixa maquinabilidade, ou seja, se adaptam com dificuldade aos processamentos convencionais para a produção de embalagens, a introdução de aditivos às matrizes poliméricas é necessária. A questão da rigidez pode ser resolvida por intermédio da adição de plastificantes, que melhoram as propriedades mecânicas dos filmes (SHIMAZU, 2007).

O uso dos filmes biodegradáveis como embalagem vai depender de suas propriedades funcionais, como propriedades mecânicas de

resistência e flexibilidade, propriedades ópticas de cor e opacidade, propriedades de barreira de permeabilidades ao vapor de água, ao oxigênio (O<sub>2</sub>) e ao gás carbônico (CO<sub>2</sub>), solubilidade em água e propriedades sensoriais. Essas propriedades dependem do biopolímero usado, das condições de fabricação e das condições ambientais importantes por causa da natureza higroscópica dos biopolímeros e do plastificante usados (TEIXEIRA et al., 2012).

O projeto visa desenvolver e caracterizar mecanicamente os corpos de provas oriundos da produção de filme biodegradável a partir da técnica *casting*, produzir o filme biodegradável a partir do amido adicionando glicerol ou triacetina, confeccionar os corpos de provas, realizar o teste de tração dos corpos de provas confeccionados, analisar a superfície de fratura dos corpos de provas pela técnica de microscopia. Nos filmes produzidos por *casting* empregam-se amido (5 gramas/ 100 mililitros de solução filmogênica) e vinte por cento da massa de glicerol ou triacetina por 100 mililitros de solução.

Assim, destaca-se a importância de avaliar a estabilidade e o efeito mecânico do filme sobre as diferentes concentrações de glicerol ou triacetina adicionado ao amido, para verificação da efetiva concentração de plastificante que se deve adicionar para melhor composição do biofilme.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Produção do biofilme

Os filmes foram confeccionados com amido de milho (5 g de amido/100 mL de solução filmogênica) empregando-se o plastificante em concentração definida (20% de glicerol e 5% de triacetina em relação à massa do amido), segundo técnica do tipo *casting*. Adição de 10 mL de ácido clorídrico para ligação do plastificante ao amido. Adição de hidróxido de sódio até a neutralização da solução. As soluções filmogênicas foram aquecidas de 30 a 95°C, mantidas a 95°C por 10 minutos (ROMAN, 2010).

Em seguida, foram espalhadas em placas de acrílico (10 x 20 cm) 100 mL de cada solução filmogênica. O material foi seco em estufa com circulação e renovação de ar à 40°C até peso constante. Os filmes foram condicionados, durante 24 horas em temperatura ambiente (25°C), antes das análises (ROMAN, 2010).

A técnica de *casting* é definida como a desidratação da solução filmogênica sobre uma placa de petri. Para o *casting* colocou-se 0,43 g de solução filmogênica por cm<sup>2</sup> de área da placa de petri (FAKHOURI, 2007). Logo após, as placas foram inseridas em secador de alimentos (SOLAB, SL102/100,

Brasil) com convecção de ar forçada por 24 horas a 40°C(MOTA, 2009).

Para a remoção efetiva dos biofilmes das placas de petri, sem danificar a sua estrutura, os mesmos foram inseridos em um dessecador contendo uma atmosfera saturada de NaCl, e o conjunto (biofilme e dessecador) foi colocado dentro de uma estufa à temperatura ambiente (~21°C) durante uma semana(MOTA, 2009).

## 2.2 Espessura

A espessura dos filmes foi determinada em micrômetro digital Fowler IP 54 (Newton, EUA), com sensibilidade de  $\pm 0,001$  mm, aferida em cinco pontos aleatórios para cada filme, com triplicatas do filme sendo analisadas (FAKHOURI et al., 2007).

## 2.3 Permeabilidade ao vapor de água

A transmissão do vapor da água nos filmes foi determinada gravimetricamente segundo método proposto pela ASTM (*American Society for Testing and Material*), E96-80 modificado, à temperatura de 25 °C. Amostras de filmes foram dimensionadas em formato circular com 40 mm de diâmetro e aplicadas em células de permeação contendo água destilada. Estas células foram colocadas em dessecador contendo sílica gel azul, de forma a assegurar um gradiente hídrico no sistema, e o conjunto foi armazenado a 25 °C e umidade relativa de  $50 \pm 3\%$  em incubadora. Ao longo do dia, houve monitoramento do peso das células e filmes em intervalos de 30 minutos por 6 h, de forma a acompanhar a variação de peso no período (FAKHOURI et al., 2007).

$$PVA = \frac{g}{t \times A} \times \frac{x}{\Delta P} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

PVA = permeabilidade ao vapor de água (g.mm.m<sup>-2</sup>.d.kPa);

g = ganho de peso dos filmes (g);

t = tempo total em horas;

A = área de permeação (m<sup>2</sup>)

x = espessura média do filme (mm);

$\Delta P$  = diferença de pressão de vapor do ambiente contendo sílica gel (0 kPa, a 25 °C) e a água pura (3,167 kPa, a 25 °C).

Diferentemente de FAKHOURI et al., 2007, neste trabalho as massas foram observadas a cada hora e não a cada 30 minutos, somente nas duas primeiras horas os dados de massa foram coletados em intervalos de 30 minutos em intervalo total de 11 horas.

## 2.4 Opacidade

O espaço de cor  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , também conhecido como espaço de cor CIELAB, é atualmente o mais popular dos espaços de cores uniformes usados para avaliar as cores.

As propriedades ópticas de cor e opacidade dos filmes foram determinadas pela utilização de um colorímetro Minolta modelo CRIO. Para determinar a diferença total de cor entre as três coordenadas é utilizada a equação 2.

$$\Delta E^* = [\Delta L^{*2} \times \Delta a^{*2} \times \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

$\Delta E^*$  = diferença total de cor;

$L^*$  = luminosidade;

$a^*$  = coordenada vermelho/verde;

$b^*$  = coordenada amarelo/azul.

As variáveis  $a^*$  e  $b^*$  são as coordenadas cromáticas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os biofilmes de amido de mandioca puro e plastificados com glicerol ou triacetina foram obtidos pela técnica de casting. As espessuras dos biofilmes amido puro e plastificados (amido/glicerol e amido/triacetina) estão demonstradas nas Tabelas 1, 2 e 3. Os valores das médias e dos desvios padrões de cada amostra de cada um dos três biofilmes foram calculados e os valores destas médias das espessuras foram utilizados para realizar o cálculo dos valores do PVA segundo a eq. 1.

**Tabela 1**– Caracterização de espessura amido puro (mm).

	Espessura do biofilme		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
	0,136	0,194	0,128
	0,135	0,129	0,213
	0,091	0,092	0,129
	0,112	0,110	0,154
	0,135	0,167	0,180
Média	0,122	0,138	0,161
Desvio Padrão	0,019967	0,041705	0,0361483

Fonte: O autor, 2014.

**Tabela 2** – Caracterização amido mais glicerol espessura (mm).

Espessura do biofilme			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
	0,057	0,068	0,080
	0,033	0,080	0,054
	0,079	0,096	0,056
	0,073	0,055	0,093
	0,098	0,080	0,070
Média	0,068	0,076	0,071
Desvio Padrão	0,024454	0,015304	0,0164256

**Fonte:** O autor, 2014.

**Tabela 3** – Caracterização de espessura amido mais triacetina (mm)

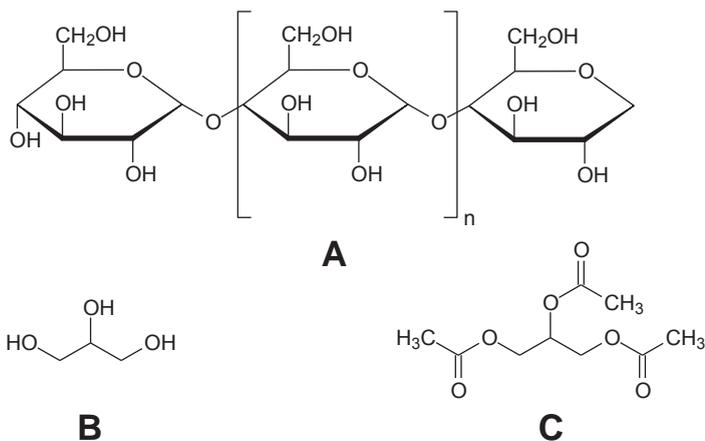
Espessura do biofilme			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
	0,157	0,215	0,108
	0,152	0,238	0,169
	0,142	0,140	0,102
	0,126	0,199	0,172
	0,133	0,134	0,166
Média	0,142	0,185	0,143
Desvio Padrão	0,012865	0,04618116	0,0351824

**Fonte:** O autor, 2014.

Observando os valores da Tabela 3 e comparando seus valores com os valores das Tabelas 1 e 2 nota-se que adição de triacetina provocou um aumento na espessura dos biofilmes, além disto, os valores dos desvios padrão das medidas de espessura destes biofilmes e dos biofilmes de amido puro apresentarão um valor maior do que os biofilmes plastificados com glicerol (Tabela 2).

Os biofilmes de amido com glicerol apresentaram uma espessura reduzida, este plastificante tende a ter maior facilidade a se ligar à matriz de amido do que a triacetina devido a estrutura molecular do amido (Figura 1).

Nesse estudo, o glicerol provocou diminuição da espessura dos filmes, quase a metade, quando comparado a biofilmes de amido puro ou plastificados com triacetina. FAKHOURI et al., 2007, já havia descrito a forte interação existente entre a molécula de amido e a de glicerol.

**Figural 1** – Estruturas das moléculas de amido (A), glicerol (B) e triacetina (C).

Fonte: O autor, 2014.

De um lado o amido - um carboidrato macromolecular - um poliálcool de estrutura helicoidal que possui óbvia afinidade com o glicerol. Do outro lado o glicerol - um triálcool de baixo peso molecular. Ambas as moléculas bastante polares e capazes de realizar ligações dos tipos pontes de hidrogênio entre suas hidroxilas diminuindo os espaços interatômico entre as moléculas de amido fazendo que elas fiquem mais próximas umas das outras e, ao mesmo tempo, que promove a lubrificação intramolecular permitindo o deslizamento entre as cadeias.

Esses dois efeitos foram de fato observados, o primeiro pela constatação da redução da espessura do filme como já fora observado; o efeito de deslizamento intramolecular também foi obtido, embora nenhum ensaio mecânico tenha sido realizado nos filmes, ele pode ser constatado durante o processo de remoção dos filmes do substrato após as suas fabricações pela técnica de *casting*.

Foi observada uma superior deformação plástica nos biofilmes plastificados com glicerol quando comparados aos outros dois biofilmes (amido puro e amido/triacetina), além disto, também foi observado um comportamento de memória, ou seja, houve uma recuperação da deformação aplicada nos biofilmes de amido/glicerol indicando um comportamento elástico e dúctil parecido com os de alguns elastômeros. Porém esses efeitos mecânicos nos filmes não foram caracterizados e nem foram o objeto de estudo deste trabalho.

As moléculas de triacetina possuem três grupos ésteres que por posicionamento geométrico na molécula e estruturas de ressonância dos grupos

carboxilas caracterizam esta substância como uma substância pouco polar apesar da alta atômica dos átomos de oxigênio – sabidamente eletronegativos.

Essa baixa polaridade torna a triacetina menos eficiente para promover a plastificação das moléculas amido e isto explica a espessura de mesma ordem observada nos biofilmes de amido puro e plastificados com triacetina. Foi observado também que o plastificante triacetina migrou para a superfície do biopolímero, ou seja, sofreu exsudação.

Este fenômeno de exsudação é comumente visto com um indicativo muito ruim que aponta para a incompatibilidade entre a matriz polimérica e o aditivo / plastificante / carga. Por outro lado, este biofilme apresentou uma fácil desmoldagem, de fato, o melhor deslocamento após a fabricação por *casting*.

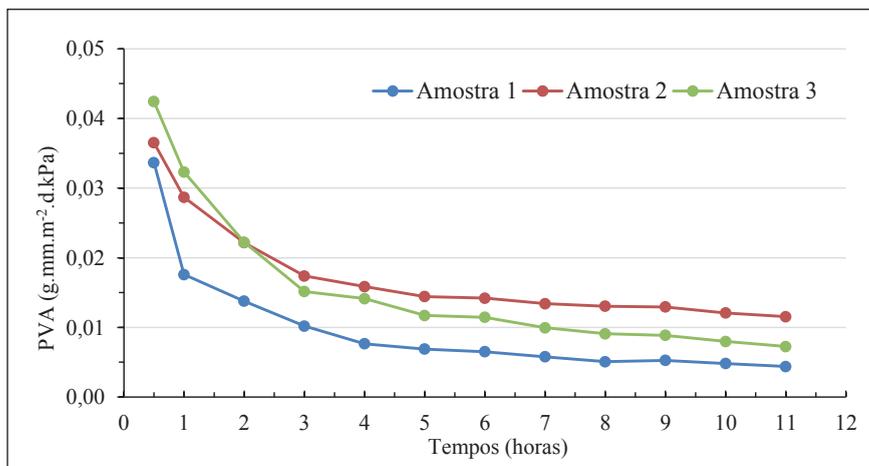
Muitas vezes os biofilmes são perdidos no momento em que se tenta soltá-lo da superfície do substrato no qual ele foi produzido na fabricação por *casting* e um estudo mais profundo da triacetina poderia apontar para o uso da mesma não como plastificante, mas em concentrações que a convertesse em um aditivo tipo desmoldante interno.

Os valores de permeabilidade ao vapor d'água do filme de amido puro estão demonstrados na Tabela 4 e com eles foram feitas as curvas de PVA que podem ser observadas na Figura 2.

**Tabela 4** – Permeabilidade ao vapor d'água dos biofilmes de amido puro (g.mm.m<sup>-2</sup>.d.kPa).

Permeabilidade ao Vapor de Água (g.mm.m <sup>-2</sup> .d.kPa)			
Tempos (horas)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
0,0	0,0000	0,0000	0,0000
0,5	0,0337	0,0365	0,0424
1,0	0,0176	0,0287	0,0323
2,0	0,0138	0,0222	0,0222
3,0	0,0102	0,0174	0,0152
4,0	0,0077	0,0159	0,0141
5,0	0,0069	0,0144	0,0117
6,0	0,0065	0,0142	0,0114
7,0	0,0058	0,0134	0,0100
8,0	0,0051	0,0130	0,0091
9,0	0,0053	0,0129	0,0089
10,0	0,0048	0,0121	0,0080
11,0	0,0044	0,0115	0,0073

Fonte: O autor, 2014.

**Figura 2**– Curvas de PVA das amostras de biofilme de amido puro.

**Fonte:** O autor, 2014.

Todos os valores de permeabilidade foram obtidos através da metodologia proposta utilizando-se a verificação da massa de sílica gel e em períodos iniciais de 30 minutos e depois de uma hora. Os valores da massa obtidos e os valores médios das espessuras foram usados para o cálculo do PVA segundo a equação 1.

Os dados de PVA em função do tempo para as três amostras dos biofilmes de amido puro observados na Figura 2 se comportaram como uma função logarítmica inversa do tipo  $f(x) = 1/\log(x)$ , a estabilidade do comportamento assintótico do PVA em relação ao tempo se deu após 7 horas de ensaio.

Da mesma maneira se procedeu com os biofilmes plastificados com glicerol. Os valores da permeabilidade ao vapor d'água do biofilme de amido plastificado com glicerol podem ser observados na Tabela 5 e com eles foram construídas as curvas de PVA que podem ser observadas na Figura 3.

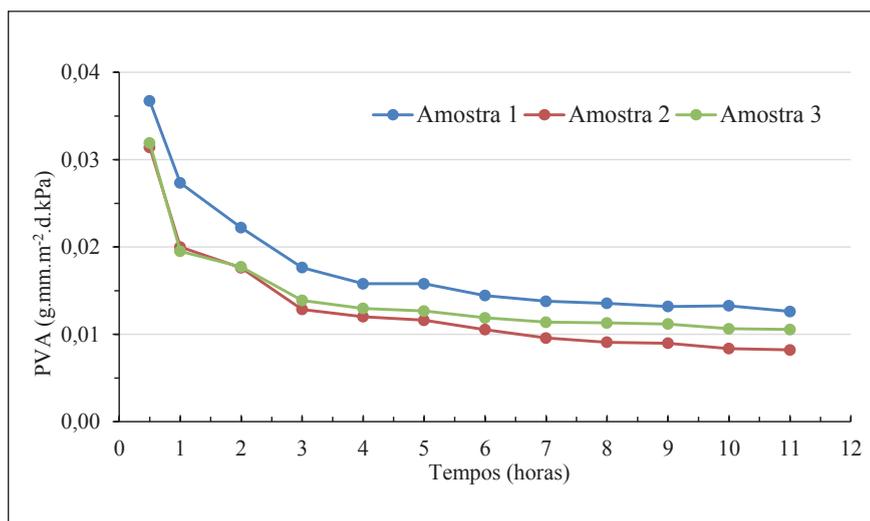
Os dados de PVA em função do tempo das três amostras dos biofilmes de amido plastificado com glicerol demonstrados na Figura 3 também se comportaram como uma função do tipo  $f(x) = 1/\log(x)$ , a estabilidade do comportamento assintótico do PVA em função do tempo também se deu após 7 horas de ensaio.

Por fim, mesmo procedimento foi dado aos resultados de PVA dos biofilmes plastificado com triacetina. Os valores de permeabilidade ao vapor d'água do biofilme de amido plastificado com triacetina podem ser observados na Tabela 5 e com eles foram construídas as curvas de PVA que podem ser observadas na Figura 3.

**Tabela 5** –Permeabilidade ao vapor d'água dos biofilmes de amido com glicerol (g.mm.m<sup>-2</sup>.d.kPa).

Permeabilidade ao Vapor de Água (g.mm.m-2.d.kPa)			
Tempos (horas)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
0,0	0,0000	0,0000	0,0000
0,5	0,0367	0,0314	0,0319
1,0	0,0273	0,0200	0,0195
2,0	0,0222	0,0176	0,0177
3,0	0,0177	0,0129	0,0139
4,0	0,0158	0,0120	0,0130
5,0	0,0158	0,0116	0,0127
6,0	0,0145	0,0106	0,0119
7,0	0,0138	0,0096	0,0114
8,0	0,0136	0,0091	0,0113
9,0	0,0132	0,0090	0,0112
10,0	0,0133	0,0084	0,0106
11,0	0,0126	0,0082	0,0106

Fonte: O autor, 2014.

**Figura 3** – Curvas de PVA das amostras de biofilme de amido plastificado com glicerol.

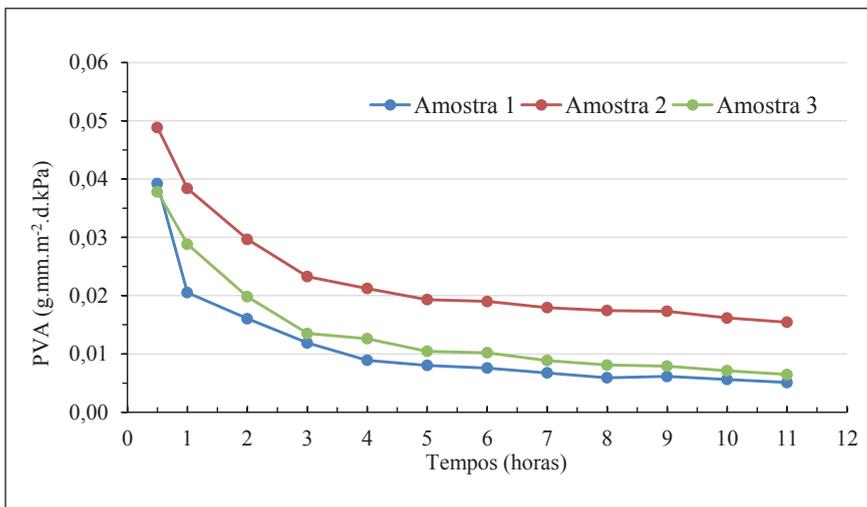
Fonte: O autor, 2014.

**Tabela 6** –Permeabilidade ao vapor d’águas biofilmes de amido com triacetina (g.mm.m<sup>-2</sup>.d.kPa).

Permeabilidade ao Vapor de Água (g.mm.m-2.d.kPa)			
Tempos (horas)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
0,0	0,0000	0,0000	0,0000
0,5	0,0392	0,0489	0,0378
1,0	0,0205	0,0384	0,0288
2,0	0,0161	0,0297	0,0198
3,0	0,0119	0,0233	0,0135
4,0	0,0089	0,0212	0,0126
5,0	0,0080	0,0193	0,0104
6,0	0,0076	0,0190	0,0102
7,0	0,0068	0,0179	0,0089
8,0	0,0059	0,0175	0,0081
9,0	0,0061	0,0173	0,0079
10,0	0,0056	0,0162	0,0071
11,0	0,0051	0,0154	0,0065

Fonte: O autor, 2014.

**Figura 4** – Curvas de PVA das amostras de biofilme de amido plastificado com triacetina.



Fonte: O autor, 2014.

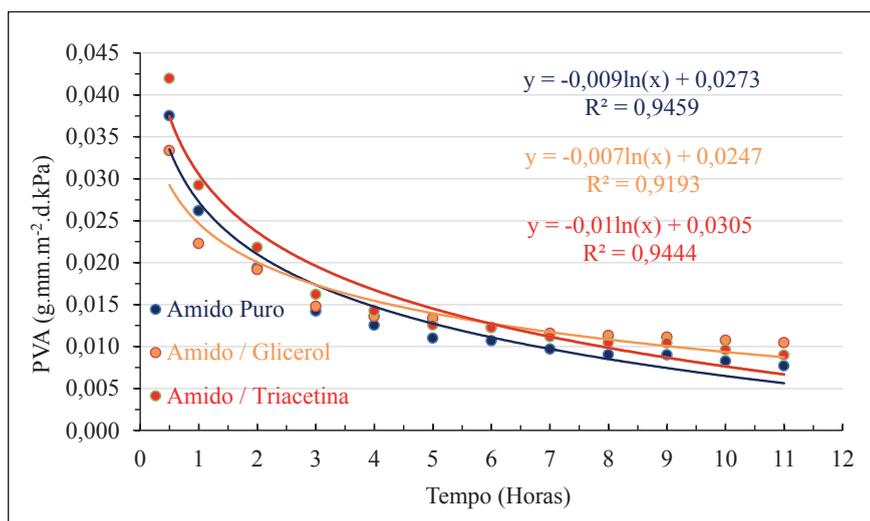
Bem como nos biofilmes anteriores, os dados de PVA em função do tempo das três amostras dos biofilmes de amido plastificado com triacetina observados na Figura 4 comportaram-se como uma função do tipo  $f(x) = 1/\log(x)$  e o comportamento assintótico do PVA em função do tempo também se deu a partir de 7 horas de ensaio.

Houve um comportamento bastante parecido do comportamento do PVA em função do tempo para as três amostras dos três biofilmes conforme observado nas Figuras 2, 3 e 4, ou seja, há uma grande permeação ao vapor de água no início do procedimento, acompanhada por uma queda no valor na permeação até observar um equilíbrio nas últimas horas de ensaio. Este comportamento de função logarítmica invertida é esperada para ensaios de permeação e este comportamento do PVA para filmes de amido já foi observado antes por outros autores (FAKHOURI et al., 2007).

Para a melhor visualização comportamento dos resultados de PVA dos três biofilmes foi calculada a média do PVA das amostras para cada biofilme e as curvas apresentadas na Figura 5 foram obtidas.

As curvas apresentadas na Figura 5 foram obtidas utilizando o valor médio de PVA das três amostras coletas para cada tipo de biofilme (amido puro, amido / glicerol e amido / triacetina) para cada um dos períodos que a massa foi medida.

**Figura 5** – Curvas de PVA das amostras de biofilme de amido plastificado com triacetina.



Fonte: O autor, 2014.

Com auxílio do programa Excel, foram obtidas as regressões logarítmicas e os valores de  $R^2 (> 0,9$  para os três biofilmes) que demonstram que há uma boa correlação entre os dados experimentais e o comportamento esperado para a PVA dos materiais. De uma forma geral, foi observado que os comportamentos dos biofilmes com relação à permeação do vapor de água não sofreram modificações significativas devido ao sistema de plastificação usado.

Os ensaios de opacidade demonstram que a cor dos biofilmes de amido puro e plastificados com glicerol ou triacetina são de uma cor bastante clara devido ao resultado acentuadamente positivo de  $L^*$ , levemente esverdeado devido aos valores ligeiramente negativos para  $a^*$  e um pouco amarelado devido ao fator  $b^*$  apresentar valores levemente positivos. Os resultados de opacidade podem ser observados nas Tabelas 7, 8 e 9. Os valores de  $\Delta E^*$  foram calculados aplicando a equação 2.

A cor dos filmes pode afetar sua aceitação tanto em aplicações comestíveis como não comestíveis (embalagens). Não houve diferenças significativas na luminosidade ( $L^*$ ) e nos componentes  $b^*$  que varia do azul (-b) ao amarelo (+b) e  $a^*$  que varia do verde (-a) ao vermelho (+a) (FAKHOURI et al., 2007).

**Tabela 7** –Caracterização de cor do biofilme de amido puro.

Opacidade			
Face	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
$L^*$	+89,40	+89,80	+90,00
$a^*$	-0,25	-0,62	-0,65
$b^*$	+2,20	+2,61	+1,61
Diferença de cor ( $\Delta E^*$ )	49,17	145,31	94,19

Fonte: O autor, 2014.

**Tabela 8** – Caracterização de cor do biofilme de amido plastificado com glicerol.

Opacidade			
Face	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
$L^*$	+88,96	+89,6	+89,57
$a^*$	-0,25	-0,48	-0,50
$b^*$	+0,56	+0,52	+0,22
Diferença de cor ( $\Delta E^*$ )	12,45	22,36	9,85

Fonte: O autor, 2014.

**Tabela 9** – Caracterização de cor do biofilme de amido plastificado com triacetina.

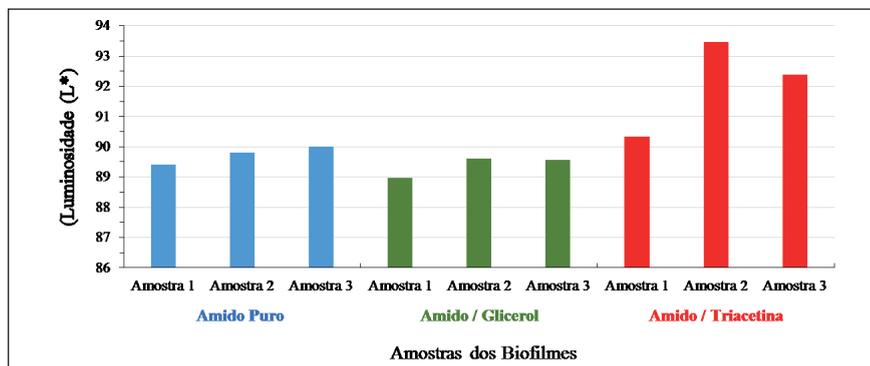
Face	Opacidade		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
L*	+90,34	+93,46	+92,39
a*	-0,75	-0,47	-0,46
b*	+0,48	+0,73	+0,38
Diferença de cor ( $\Delta E^*$ )	32,52	32,07	16,15

**Fonte:** O autor, 2014.

Outra importante informação sobre a observação da cor destes materiais é que as medidas de luminosidade e cor também podem ser um indicativo da opacidade do material sendo um indicativo da cristalinidade de compostos poliméricos.

Com os valores das faces L\*, a\* e b\* e também da diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) que foram apresentadas nas Tabelas 7, 8 e 9, foram construídas as curvas demonstradas respectivamente nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

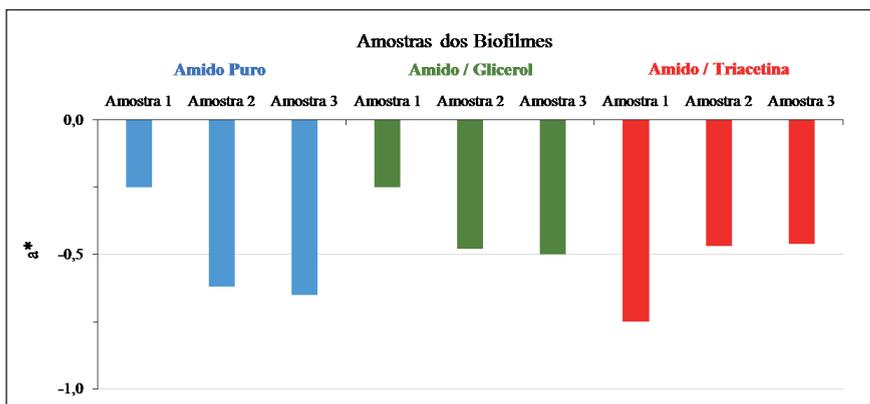
Apesar da proximidade das cores dos três biofilmes estudados, foi observada uma discreta e menor luminosidade na face L\* (Figura 6) para os biofilmes de amido plastificado com glicerol indicando uma menor luminosidade e, portanto, uma maior transparência deste material comparado aos outros dois. Isto indica uma menor cristalinidade do sistema, confirmando a eficiência das plastificação da matriz de amido pelo glicerol sustentando os resultados obtidos nas medidas de espessura.

**Figura 6** – Curvas da face L\* para os biofilmes de amido puro, amido / glicerol e amido / triacetina.

**Fonte:** O autor, 2014.

Para os outros dois biofilmes todos os resultados de opacidade foram muito parecidos indicando que não ocorreram modificações significativas de comportamento e que, portanto, não há dependência destas tonalidades cromáticas (FAKHOURI et al., 2007). A face a\* (Figura 7) não apresentou variação significativa de valores para as amostras dos biofilmes estudados.

**Figura 7**– Curvas da face a\* para os biofilmes de amido puro, amido / glicerol e amido / triacetina.

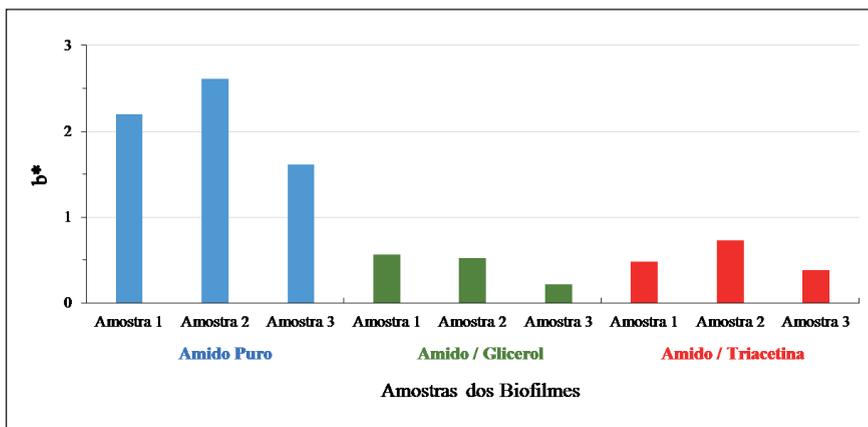


**Fonte:** O autor, 2014.

A face b\* (Figura 8) demonstra uma significativa intensidade superior para as amostras de biofilme de amido puro, o que indica que os filmes de amido puro são ligeiramente mais amarelados que os filmes plastificados, isto faz sentido tendo em vista que a literatura comunica que os filmes de amido possuem esta coloração (FAKHOURI et al., 2007).

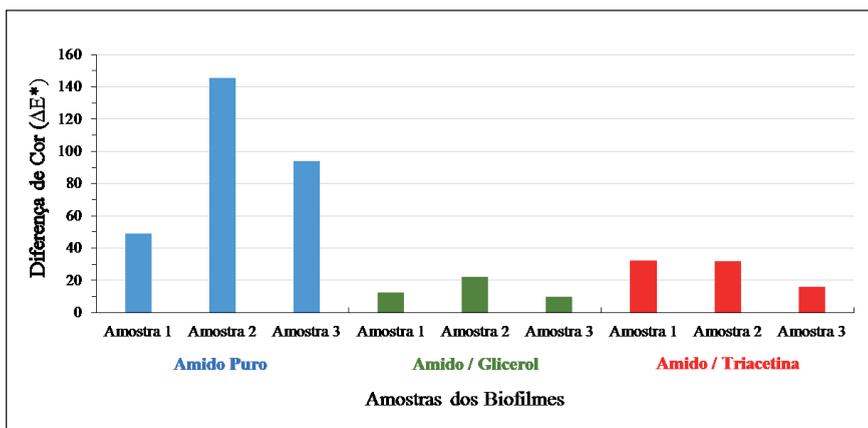
Na Figura 9, apresenta-se o comportamento da diferença de cor  $\Delta E^*$  e evidencia que os biofilmes de amido puro não só são mais opacos bem como possuem intensidade de cor mais intensa que os outros biofilmes. Todos os biofilmes apresentaram significativa falta de homogeneidade nos resultados de coloração e opacidade (Figuras 6,7, 8 e 9), isto pode ser reflexo destes materiais apresentarem regiões mais ou menos cristalinas distribuídas de forma desuniforme ao longo de todo o material.

**Figura 8**– Curvas da face  $b^*$  para os biofilmes de amido puro, amido / glicerol e amido / triacetina.



Fonte: O autor, 2014.

**Figura 9**– Curvas da face  $\Delta E^*$  para os biofilmes de amido puro, amido / glicerol e amido / triacetina.



Fonte: O autor, 2014.

## 4 CONCLUSÕES

Foi possível elaborar filmes com misturas de amido de milho e os plastificantes glicerol e triacetina, cada qual no teor adequado. A adição de glicerol ou triacetina resultou em um aumento da permeabilidade, da diferença de cor (amarelecimento) e diminuição na espessura. Como resultado da otimização, considerando-se os fatores desejáveis, houve boa permeabilidade ao vapor de água, boa espessura e bons resultados colorimétricos, as melhores condições de processo que atenderiam a estas características foram as corretas adições dos plastificantes onde, de forma geral, os resultados foram satisfatórios e dentro das expectativas pré-estabelecidas, tendo um saldo positivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, G. **Uma abordagem sobre as ações e as tecnologias empregadas no combate ao uso das sacolas plásticas**, 2009. Monografia - Faculdade de Tecnologia da Zona Leste. São Paulo, 2009.

ASTM. **Historical Standard: ASTM D882-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**.

BASSO, C. **Amido resistente: efeito de processamento, aceitabilidade e resposta glicêmica**. Monografia - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2010.

BRASIL. Ministério do meio ambiente. **Uso de materiais menos agressivos ao meio ambiente na fabricação das embalagens**.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C. R.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. **Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson**. Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas, v. 27, nº 2, p. 369-375, abr./jun. 2007.

FOGAÇA, J. **Amido. Constituição química e fontes do amido** - Brasil Escola.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M de L. **Amido resistente e suas propriedades físico-químicas**.

MALI, S; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização**. Ciências Agrárias. Londrina, v. 31, nº 1, p. 137-156, jan. 2004.

MOTA, R. D. P. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis através de blenda polimérica de amido de lírio do brejo (*Hedychium coronarium*) e de amido de fruto-do-lobo (*Solanum lycocarpum* st. Hill)**, 2009. Monografia - Universidade Estadual de Goiás. Anápolis, 2009.

REIS, L. C. B.; BARCELOS, A. D.; MACHADO, B. A. S.; DRUZIAN, J. A. Filme biodegradável incorporado com glicerol e aditivos naturais. **Cadernos de Prospecção**. Salvador/BA, v. 4, nº 4, p.23-32, abr. 2011.

ROMAN, J. A. R. **Biomoléculas: carboidratos, lipídeos e proteínas**. Monografia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2010.

SCHEIBE, A. S. **Produção e caracterização de embalagem biodegradável de amido de mandioca e fibras usando a técnica de tape-casting**, 2012. Monografia - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2012.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificantes e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Ciências Agrárias**. Londrina/PR, v. 28, nº 1, p. 79-88, jan./mar. 2007.

TEIXEIRA, B. A.; PERON, C. L.; PRESTES, R. A.; PINHEIRO, L. A.; ALMEIDA, D. M. **Caracterização de filme a base de amido, biossurfactante e celulose bacteriana**, Monografia - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa/PR, 2011.

