

DESENVOLVIMENTO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO INCORPORADOS COM FIBRA DE MANDIOCA E DE AGAVE

Eliane Soares de Brito ¹
Djeson Mateus Alves da Costa ²

RESUMO

O objetivo deste estudo foi desenvolver filmes biodegradáveis compostos por amido de milho-glicerol, reforçados com fibras de mandioca (FM = 0, 10 e 20%), de agave (FA = 0, 5 e 10%) e da mistura das duas fibras (FMA = 5% de cada), ambos calculados em relação a quantidade de amido, obtidos pela técnica de *casting*. A espessura e a densidade dos filmes incorporados com as fibras de mandioca (FM10 e FM20) não diferenciaram significativamente do filme de referência (sem fibra - SF), ao passo que os com as fibras de agave (FA05 e FA10) apresentaram valores diferentes. Os tratamentos aplicados aos filmes não afetaram a transparência, cujo valor médio foi $59,433 \pm 7,127$ %. A permeabilidade ao vapor de água dos filmes reforçados com fibra de agave foi reduzida em relação aos filmes elaborados com os outros tratamentos, cujos valores máximo e mínimo foram, respectivamente, iguais a $0,2212 \pm 0,0097$ g.cm⁻².dia⁻¹ (SF) e $0,0160 \pm 0,0042$ g.cm⁻².dia⁻¹ (FA10).

Palavras-chave: Amido de milho, Biodegradáveis, Plastificantes, Fibra de mandioca, Fibra de agave.

INTRODUÇÃO

A necessidade de produção em larga escala de embalagens duráveis, para utilização diária no mercado, fez com que os plásticos assumissem um papel de destaque em praticamente todos os segmentos de produção. Nesse cenário atual, houve grande interesse na pesquisa e no desenvolvimento de materiais para embalagem biodegradáveis no intuito de diminuir o acúmulo de resíduos plásticos no meio ambiente. Após descartes, a maior parte dos plásticos convencionais é encaminhada para aterros sanitários a céu aberto. Esses materiais são de difícil degradação, sendo que alguns exigem mais de 100 anos para se degradarem totalmente, fato que gera um grande impacto ambiental (ALVES, 2009).

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

¹ Tecnóloga em Processos Químicos. E-mail: elianesoares618@gmail.com; ² Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. E-mail: djeson.mateus@ifrn.edu.br.

Inúmeros estudos já foram publicados sobre a 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).

Diante o exposto, este projeto visou desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis a base de amido de milho, utilizando a técnica *casting*, tendo como aditivos glicerina, ácido acético e dois tipos de fibras vegetais (mandioca e agave).

METODOLOGIA

• Material

O amido de milho e as fibras de agave, utilizados nos experimentos, foram adquiridos na rede de comércio local da cidade de Nova Cruz-RN; a glicerina e o ácido acético foram disponibilizadas pelo Laboratório de Química do IFRN, *Campus* Nova Cruz-RN. A fibra da mandioca foi obtida como rejeito do processo de extração do amido da própria mandioca.

• Preparação dos filmes

Os biofilmes foram preparados utilizando a técnica de *casting*, que consistiu no espalhamento das soluções filmogênicas preparadas em formas metálicas revestidas de teflon. A solução foi preparada a partir da mistura de 3% (m/v) de amido de milho em água destilada, plastificante e fibras vegetais. Juntamente com o plastificante (glicerina) foi adicionado ácido acético glacial, ambos em quantidade equivalente a 30% (m/m), em relação a massa de amido.

Inicialmente, todos os componentes foram pesados e misturados à água. A mistura foi aquecida em banho-maria sob agitação manual, até atingir a temperatura de 85°C, permanecendo por 20 minutos nessa temperatura, até a gelatinização completa do amido. A solução filmogênica foi espalhada nas formas ($\varnothing = 15$ cm) e seca em estufa a temperatura de 45°C, por 18 horas. Na tabela 1 estão apresentadas as formulações utilizadas na elaboração dos filmes biodegradáveis.

Tabela 1: Formulações utilizadas para a produção dos filmes de amido de milho incorporados com resíduo de mandioca e fibra do agave.

Formulações	A3_GL30					
	SF	FM10	FM20	FA05	FA10	FMA5
1	+	-	-	-	-	-
2	-	+	-	-	-	-
3	-	-	+	-	-	-
4	-	-	-	+	-	-
5	-	-	-	-	+	-
6	-	-	-	-	-	+

SF - sem fibra; FM10 - fibra de mandioca a 10%; FM20 - fibra de mandioca a 20%; FA05 - fibra de agave a 5%; FA10 - fibra de agave a 10%; e FMA5 - fibra de mandioca e de agave a 5%. Sinal positivo (+) indica a inclusão do tratamento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

• Caracterização dos filmes

Espessura

A espessura dos filmes foi medida com o auxílio de um micrômetro digital, marca TMX com resolução de 0,001 μ m. A espessura final foi determinada pela média aritmética das medidas (sete pontos aleatórios) realizadas em cada amostra (OLIVEIRA, 1996).

Teor de umidade

Mediu-se, inicialmente a massa (g) do filme e em seguida colocou-se em estufa com circulação de ar, a 105 °C, durante 24 h. Decorrido esse tempo, mediu-se novamente a massa do filme seco. O teor de umidade (%) foi calculado pela diferença entre a massas antes (m_i) e depois (m_f) de seca, tomada em relação a massa inicial (Equação 1).

$$U = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Gramatura

A quantidade e a viscosidade (consistência) da solução filmogênica são fatores que contribuem para obtenção de filmes plásticos com maior ou menor gramatura, densidade e resistência mecânica (OLIVEIRA *et al.*, 1996). Sua determinação, em g/cm², foi feita após desidratação em dessecador durante 24 h, dividindo-se a sua massa (g) pela área superficial correspondente (cm²). Para isso, utilizou-se a Equação 2:

$$G = \frac{m}{A} \quad (2)$$

onde, m é a massa do filme e A é a área correspondente.

Densidade

As propriedades mecânicas e de barreiras dos filmes flexíveis são também influenciadas pela densidade dos mesmos. Para sua determinação (g/cm³), divide-se a gramatura por sua respectiva espessura, conforme Equação 3:

$$d = \frac{G}{e} \quad (3)$$

na qual, G é a gramatura (g/cm²) e e é a espessura (cm).

Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A determinação gravimétrica da permeabilidade ao vapor de água (PVA) baseou-se na metodologia ASTM (2000), com algumas adaptações. O filme foi fixado na abertura circular

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

de um erlenmeyer com capacidade para 125 mL e fixado com fita *crep* de modo a garantir que toda migração de umidade/vapor de água ocorresse exclusivamente através do filme. O interior do erlenmeyer foi parcialmente preenchido com água destilada (50 mL), mediu-se a massa inicial do sistema erlenmeyer-água-filme-fita *crep* (m_i) e, em seguida, foi colocado em um dessecador contendo sílica gel. Sucessivas pesagens foram realizadas a cada 2 horas, por um intervalo de tempo de 24 horas. Decorrido esse período, mediu-se a massa final do respectivo sistema (m_f). A taxa de permeação, medida em $\text{g}/(\text{dia} \cdot \text{cm}^2)$, foi calculada pela Equação 4:

$$PVA = \frac{m_i - m_f}{t \cdot A} \quad (4)$$

onde t é o tempo (dia) e A é a área da abertura do erlenmeyer (cm^2).

Transparência

A determinação da transparência deu-se pela análise das amostras dos biofilmes no espectrofotômetro marca Thermo Scientific, modelo Evolution 60S – UV Visible Spectrophotometer, sendo avaliada indiretamente pela transmitância, na faixa de comprimento de onda de 720 nm. O teste em branco foi realizado pela leitura da transmitância com água destilada na cubeta.

Solubilidade em água

O procedimento para determinação da solubilidade foi realizado colocando-se amostras dos biofilmes para secar em estufa com circulação de ar (Tecnal, modelo TE-381, Brasil), a 105°C por 24 horas. Após secagem, as amostras foram pesadas (m_i) e inserida em um béquer com aproximadamente 100 mL de água destilada, permanecendo sob agitação em mesa agitadora (100 rpm) por 24 h, a temperatura ambiente. Logo após, descartou-se a porção líquida e a massa do biofilme não solubilidade foi novamente colocado em estufa a 105°C por 24 horas e, depois pesado para obtenção da massa final (m_f). A perda de massa dos filmes, por solubilização em água (P_m), foi calculada pela Equação 5, sendo o resultado expresso em porcentagem:

$$P_m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (5)$$

• **Análise estatística**

Os dados obtidos na caracterização dos filmes foram estatisticamente tratados utilizando o software Sisvar, Versão 5.6 (Build 89), sendo realizados a Análise de Variância (ANOVA) e o Teste de Tukey, para comparação entre as médias, ao nível de 5% de significância ($P \leq 0,05$).

DESENVOLVIMENTO

• Poluição plástica

No ritmo de produção e descarte que há hoje, até 2050 pode-se ter mais plásticos do que peixes no mar. A ONU Meio Ambiente considera a poluição plástica o grande desafio do século. De 2000 a 2015, a produção do material dobrou e a indústria nos próximos 10 a 15 anos pretende dobrar a produção (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2018).

De todo o lixo gerado pela humanidade, 10% é plástico, sendo que apenas 9% é reciclado e 40% são usados uma única vez e em seguida descartados. De 8 a 13 milhões de toneladas de plástico chegam aos mares todos os anos causando a morte de 100 mil animais marinhos/ano. Cerca de 700 espécies de animais, entre elas, espécies ameaçadas de extinção já foram afetadas pelos plásticos nos mares. No Brasil, são distribuídas 17 bilhões de sacolas plásticas por ano. Segundo Paulo Pompílio, vice-presidente da Associação Paulista de Supermercados, a única medida efetiva encontrada ao longo de 16 anos foi explicitar o valor da sacola para o consumidor. A medida levou à redução de 70% do consumo de sacolas e um uso mais consciente (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2018).

• Bioplásticos

Enquanto o plástico sintético advém do carbono fóssil vindo do petróleo, os bioplásticos utilizam o carbono de fontes renováveis, tais como o amido de mandioca, de arroz, de milho e de feijão (COSTA *et al.*, 2018).

Os plásticos biodegradáveis, ao contrário dos sintéticos, apresentam substâncias biodegradáveis onde os micro-organismos presentes no meio ambiente são capazes de convertê-las em substâncias mais simples, sendo facilmente biodegradáveis (CANGEMI *et al.*, 2005).

Os plásticos biodegradáveis têm propriedades físicas e químicas semelhantes ao plástico comum, mas levam em torno de 20 meses para serem degradados, ao passo que os sintéticos apresentam tempo de residência no meio ambiente bem superior. Assim, os plásticos biodegradáveis têm seu processo de degradação ativado biologicamente por ação enzimática e outros microrganismos presentes no solo, ou também, mas não somente, por processos não enzimáticos como hidrólise e fotodegradação (RÓZ, 2003).

• Amido

O amido é um dos principais componentes da maioria dos vegetais. No Brasil, denomina-se amido o produto extraído das partes aéreas dos vegetais (sementes, etc.) e fécula, o produto obtido da extração das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas).

As principais fontes de amido são os cereais, as raízes, os tubérculos e as fabáceas (leguminosas). Diversas pesquisas, ao longo de décadas, foram realizadas na caracterização desse produto quanto às suas características físicas e químicas. Sabe-se que o amido é utilizado nas mais diversas indústrias, destacando-se, principalmente, na indústria de alimentos, de papel, têxtil e de fármacos (THIRÉ *et al.*, 2004).

O amido é formado por dois tipos de polímeros de glicose, a amilose e a amilopectina, com estruturas e funcionalidade diferentes. A amilose é um polímero linear composto por unidades de D-glicose ligadas por ligações α -(1 \rightarrow 4), com grau de polimerização de 200 a 3000, dependendo da fonte do amido. A amilopectina é um polímero altamente ramificado, com unidades de D-glicose ligadas através de ligações α -(1 \rightarrow 4) e ramificações em α -(1 \rightarrow 6) (ELLIS *et al.*, 1998).

A aplicação do amido na produção de filmes se baseia nas propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade para formar filmes. As moléculas de amilose em solução, devido à sua linearidade, tendem a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (WURZBURG, 1986).

• Aditivos em biofilmes

Biofilmes oriundos de polímeros naturais são quebradiços e, geralmente, com alta solubilidade em água. Para amenizar essa desvantagem perante os materiais convencionais, vem sendo estudados os benefícios que os aditivos podem trazer às características dos biofilmes. Os aditivos são substâncias adicionadas aos biopolímeros em quantidades variáveis com a finalidade de alterar as propriedades do biofilme, conferindo maior estabilidade e manuseabilidade.

Plastificantes

Os plastificantes são compostos não voláteis de baixo peso molecular, sendo amplamente utilizados na indústria de polímeros como aditivos, pois diminuem as características dos polímeros como: tensão de formação, dureza, densidade viscosidade e cargas eletrostáticas; mas ao mesmo tempo, aumenta a flexibilidade das cadeias dos polímeros, a resistência a fratura e a constante dielétrica (VIEIRA *et al.* 2011).

Segundo Cereda (2001), durante a gelatinização dos grânulos de amido, as moléculas de amilose e amilopectina são liberadas na solução. As moléculas de amilose e amilopectina

liberadas interagem principalmente mediante pontes de hidrogênio. Sem plastificantes a amilose e a amilopectina formariam um filme com uma estrutura bifásica, que teria uma fase rica em amilose e outra em amilopectina, sendo que as interações na última são fortes o suficiente para torná-los quebradiços e rígidos. Os plastificantes nos filmes de amido ajudam a interromper a formação de dupla hélice de amilose com fragmentos da amilopectina, formando um filme flexível.

Os plastificantes comumente utilizados em biofilmes são monossacarídeos, oligossacarídeos (glicose, frutose e sacarose), polióis (glicerol e sorbitol) e lipídeos (McHUGH; KROCHTA, 1994).

Glicerina

A glicerina é um líquido claro, viscoso e incolor, de paladar adocicado e higroscópico à temperatura ambiente. Ocorre naturalmente em formas combinadas como acilglicerídeos em todos os óleos graxos de origem animal e vegetal.

Uma aplicação bastante importante da glicerina é como aditivo para várias classes de polímeros. Um exemplo foi o desenvolvimento de misturas de polímeros naturais (pectina e amido) plastificados com glicerol (FISHMAN *et al.*, 2000).

Reforçadores

No sentido de melhorar as propriedades mecânicas e de barreira de filmes de amido, vários autores têm proposto a incorporação de outros materiais como uma alternativa interessante para este fim (TALJA *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2018).

Dentre os materiais incorporados como agentes reforçadores, as fibras de celulose têm-se destacado devido à sua abundância, variedade, biodegradabilidade, baixo custo, provir de fontes renováveis e, principalmente, no caso dos filmes de amido, sua compatibilidade com a matriz polimérica (YU *et al.*, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

• Caracterização dos filmes

Espessura, gramatura e densidade

As análises dos dados obtidos para a espessura, gramatura e densidade dos biofilmes produzidos à base amido de milho, plastificado com glicerol e reforçado com fibra de mandioca e fibra de agave, respectivamente, encontram-se representadas na Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios obtidos para a espessura, gramatura e densidade dos filmes.

Tratamentos	Espessura (mm)	Gramatura (g.cm ⁻²)	Densidade(g.cm ⁻³)
-------------	----------------	---------------------------------	--------------------------------

SF	0,113 ^a	0,0146 ^{ab}	1,3032 ^b
FM10	0,122 ^a	0,0163 ^{bc}	1,3393 ^b
FM20	0,128 ^a	0,0181 ^c	1,4116 ^b
FA05	0,200 ^b	0,0143 ^{ab}	0,7161 ^a
FA10	0,229 ^c	0,0153 ^{abc}	0,6678 ^a
FMA5	0,201 ^b	0,0127 ^a	0,6313 ^a
DMS	0,024	0,0007	0,2455
CV (%)	5,35	8,10	8,85

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$); DMS: Diferença mínima significativa; CV: Coeficiente de variação. Fonte: Elaborada pelo autor.

A técnica “*casting*” utilizada se mostrou adequada tendo em vista a regularidade no controle da espessura, com variação não significativa ($P \leq 0,05$) nos filmes sem fibra (SF) e os com fibra de mandioca a 10% e a 20%. Observou-se, ainda, que os filmes incorporados com a fibra de agave à 5% e à 10% diferenciaram entre si e em relação ao de referência (SF), ambos apresentaram valores, para essa propriedade, superiores à encontrada para o filme de referência. Comportamento semelhante foi verificado para os filmes reforçados com fibra de mandioca e de agave, com 5% de cada (Tabela 2). Esse aumento na espessura pode ser explicado devido a presença da fibra de agave proporcionar maior incorporação de massa e, conseqüentemente, de volume aos filmes. Valores semelhantes foram observados por Dias (2008) em filmes de amido de farinha de arroz. No entanto, Rhim *et al.* (2004) e Costa *et al.* (2018) obtiveram menores espessuras para filmes de amido modificado de fécula mandioca e para blendas de amido-glicerol reforçadas com quitosana, nos quais as espessuras variaram de 0,056 a 0,069 mm e de 0,062 a 0,075 mm, respectivamente.

O aumento da quantidade de fibras de mandioca proporcionou acréscimo no valor da gramatura dos filmes, em relação àqueles elaborados sem essa biomassa (SF). Contudo, quando se utilizou a fibra de agave, não houve variação significativa ($P \leq 0,05$) para esse parâmetro dos filmes. Trabalhos realizados por Molina (2013) apontam dependência direta da gramatura *versus* espessura e, também, uma variação direta da gramatura com o aumento do agente plastificante em filmes biodegradáveis. Logo, como a quantidade do plastificante foi a mesma em todas as formulações, tudo indica que o aumento da gramatura nos filmes com fibra de mandioca, em relação ao de referência, deve-se à quantidade de solução filmogênica e/ou a maior retenção de umidade por essa biomassa.

A densidade dos filmes variou de 0,6313 a 1,4116 g.cm⁻³, sendo verificado maior densidade nos filmes sem fibra (SF) e com fibra de mandioca a 10% e a 20%, quando

comparados aos reforçados com fibra de agave e com a mistura desta com a fibra de mandioca (Tabela 2). Dessa forma, como os filmes incorporados com fibra de agave (FA05 e FA10) e com a mistura dela com fibra de mandioca (FMA5) foram mais espessos que os demais (SF, FM10 e FM20), é óbvio que os mesmos apresentam maiores volumes e, conseqüentemente, menores densidades, conforme constatado. Portanto, as fibras de agave, quando associadas a matriz polimérica “amido de milho-glicerina” eleva à espessura e, conseqüentemente, reduz a gramatura e densidade dos respectivos biofilmes. Como a densidade de um polímero está relacionada à sua composição química, ao seu peso molecular e a forma como estão compactadas as moléculas, é provável que a presença das fibras de mandioca, na referida matriz polimérica, adapta melhor interação que as fibras de agave, fato que ocasionou a formação de filmes mais finos e compactos.

Transparência e permeabilidade ao vapor de água

A transparência dos biofilmes, obtida a partir da medida da transmitância de luz (%), indicou que os tratamentos não afetaram essa propriedade desses polímeros ($P \leq 0,05$), cujo valor médio foi 59,433 (Tabela 3). Isso significa que os aditivos incorporados à matriz polimérica amido-glicerol interagiram de maneira semelhante, não afetando a transparência dos biofilmes. Observações semelhantes foram feitas por Costa *et al.* (2018) ao produzirem filmes à base de amido de feijão macáçar-glicerol, aditivado com diferentes teores de quitosana. Por apresentar uma média transparência, os filmes produzidos à base de amido de milho-glicerol, reforçados com fibras de mandioca e/ou de agave necessitam de melhorias visando uma melhor adequação para sua utilização em embalagens de alimentos.

Tabela 3: Valores médios obtidos para transparência e permeabilidade.

Tratamentos	Transparência (%)	Permeabilidade (g.dia ⁻¹ .cm ⁻²)
SF	68,538 ^a	0,2212 ^c
FM10	61,467 ^a	0,1884 ^d
FM20	59,686 ^a	0,1602 ^c
FA05	55,024 ^a	0,0450 ^b
FA10	54,805 ^a	0,0160 ^a
FMA5	57,075 ^a	0,0419 ^b
DMS	17,043	0,0238
CV (%)	10,45	8,10

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$); DMS: Diferença mínima significativa; CV: Coeficiente de variação. Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme os dados apresentados na Tabela 3, a maior permeabilidade ao vapor d'água ocorreu nos filmes sem fibras (SF). Isso pode estar relacionado ao fato de que a presença

uníssona do glicerol reduz a barreira ao vapor de água devido ao enfraquecimento das interações entre as moléculas de amilose e amilopectina presente no amido. Por outro lado, a adição das fibras vegetais, mandioca e/ou agave, favoreceram as interações com a matriz amido-glicerol, proporcionando menor permeabilidade ao vapor de água através dos filmes biodegradáveis. Observa-se que os filmes que contêm fibras de agave (10%) apresentaram melhor barreira, permitindo uma menor taxa de percolação.

Umidade e solubilidade em água.

Os tratamentos aplicados na elaboração dos filmes afetaram seus teores de umidade ($P \leq 0,05$), cujos valores variaram de 7,4153 a 24,9096% (Tabela 4). Tais variações podem ser explicadas devido às fortes interações entre o plastificante, o amido e as fibras. As maiores variações foram os com a mistura das fibras a 5% (FMA5) e com a fibra da mandioca a 10% (FM10). Já nos filmes sem fibras (SF), com fibra de mandioca a 20 (FM20), e com fibra de agave a 5 e 10% (FA05 e FA10) não tiveram variações significativas entre si. O teor de umidade encontrado foi inferior ao observado por Fernandes *et al.* (2015), em filmes produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado.

Tabela 4: Valores médios obtidos para umidade e solubilidade.

Tratamentos	Umidade (%)	Solubilidade (g/100 mL de água)
SF	17,3917 ^b	19,7340 ^{ab}
FM10	24,9096 ^c	17,7816 ^a
FM20	16,9354 ^b	16,7318 ^a
FA05	16,4713 ^b	17,4227 ^a
FA10	16,7760 ^b	16,6302 ^a
FMA5	7,4153 ^a	22,1826 ^b
DMS	4,96	4,2929
CV (%)	0,05	8,50

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$); DMS: Diferença mínima significativa; CV: Coeficiente de variação. Fonte: Elaborada pelo autor.

Os filmes mais solúveis em água foram os do tratamento com a mistura das fibras (FMA5). Explica-se esse aumento devido ao fato de ter sido incorporada as duas fibras ao amido de milho-glicerol, assim, alterando com a variação do agente reforçador, resultando em filmes mais solúveis. É possível que tenha havido rompimento das interações intermoleculares com a matriz polimérica, facilitando à penetração de água, e, conseqüentemente, aumentando sua solubilidade. No entanto, foi observado que os filmes incorporados com as fibras de agave à 5 e a 10% (FA05 e FA10), com fibras de mandioca a 10 e a 20% (FM10 e FM20) não

apresentaram variação significativa para essa propriedade ($P \leq 0,05$), cujo valor médio foi igual a $17,1424 \pm 1,0820$ g/100 mL de água.

Com o baixo valor de solubilidade encontrado, pode-se dizer que os filmes produzidos podem ser utilizados em produtos que necessitam de embalagens com menor solubilidade. Seu uso é inadequado para alimentos que entram em contato com a água e precisam ser solubilizados, podendo atuar como proteção para alimentos em que a atividade de água é alta, quando o alimento entra em contato com a água durante a cocção ou mesmo quando os filmes são ingeridos (comestíveis).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação de fibras de agave aumenta a espessura e o volume dos biofilmes de amido de milho-glicerol, ocasionando a obtenção de filmes com menor gramatura e densidade, quando comparados aos filmes incorporados com fibras de mandioca.

A transparência dos biofilmes não sofreu interferência devido a presença dos agentes reforçadores. Contudo, a presença dessas biomassas proporcionou redução na permeabilidade ao vapor de água dos respectivos filmes, em relação aos filmes sem esses aditivos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. S. Elaboração e caracterização de filmes finos de amido de milho e parafina. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Departamento de Ciências dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, 2009.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test, 2000.
- BRASIL. Ministério do meio ambiente. Uso de materiais menos agressivos ao meio ambiente na fabricação das embalagens. 2013.
- CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; CLARO NETO, S. Biodegradação: Uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos. Química nova na escola. China: 43ª Assembléia Geral da IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), p. 17-19, 2005.
- CEREDA, M. P. Propriedades gerais do amido. Campinas. Série Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Fundação Cargill, v. 1, 224p. 2001.
- COSTA, D. M. A.; SILVA, L. A.; LIMA, M. T. J. Caracterização de blendas de amido de feijão macáçar, quitosana e glicerol. Holos Environment, v. 18, n. 2, p. 207-226, 2018.
- DIAS, A. B. Desenvolvimento e Caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico (CTC). Florianópolis, 2008.
- ELLIS, R.P.; COCHRANE, M. P.; DALE, M. F. B.; DUFFUS, C. M.; LYNN, A.; MORRISON, I. M.; PRENTICE, R. D. M.; SWANSTON, J. S.; TILLER, S. A. Starch

- production and industrial use (Review). *Journal of Science Food and Agriculture*, London, v.77, n. 3, p.289-311, 1998.
- FERNANDES, A. P. S.; COSTA, J. B.; SOARES, D. S. B.; MOURA, C. J.; SOUZA, A. R. M. Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol.45, n. 2, p.192-199, 2015.
- FISHMAN, M. L.; COFFIN, D. R.; KONSTANCE, R. P.; ONWULATA, C. I. Extrusion of pectin/starch blends plasticized with glycerol. *Carbohydrate Polymers*, v.41, p. 317-325, 2000.
- MALI, S; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Ciências Agrárias*. Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2004.
- McHUGH, T. H., KROCHTA, J. M. Sorbitol vs glycerol plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.42, n.4, p.841-845, 1994.
- MOLINA, F. M. P. Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido e farinha de banana reforçados com nanofibras de celulose. 2013. 247p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2013.
- NATIONAL GEOGRAPHIC, 2018 Disponível em: <
<https://www.nationalgeographic.com/travel/contests/photographer-of-the-year-2018>>.
Acesso em: 24 de dezembro de 2018.
- OLIVEIRA, L. M.; ALVES, R. M. V.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; PADULA, M.; GARCIA, E. E. C.; COLTRO, L. Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA, 1996. 219p.
- RHIM, J. W. physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *Lebensm. Wiss. u.-Technology*. Vol.37, p.323-330.2004.
- RÓZ, A. L. O Futuro dos Plásticos: Biodegradáveis e Fotodegradáveis. In: *Polímeros - Ciência e Tecnologia*. São Carlos: Instituto de Química de São Carlos, v. 13, n. 4, p. 1-2, 2003.
- TALJA, R. A.; HELÉN, H.; ROOS, Y. H.; JOUPPIA, K. Effect of type and content of binary polyol mixtures on physical and mechanical properties of starch-based edible films. *Carbohydrate Polymers*. V. 71, n.2, p. 269-276, 2008.
- THIRÉ, R. M.S. M.; SIMÃO, R. A.; ARAÚJO, P. J. G.; AGCHETE, C. A.; ANDRADE, C. T. Redução da hidrofobicidade de filmes biodegradáveis à base de amido por meio de polimerização por plasma. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. São Carlos, v.14, n.1, p.57-62, 2004.
- VIEIRA, M. G. A.; SILVA, M. A.; SANTOS, L.O.; BEPPU, M. M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*, v. 43, n. 3, 254- 263 p. 2011.
- WURZBURG, O. B Cross – linking starches. In: *Wurzburg, O. B. Modified starches: properties and uses*. Boca Raton: CRC Press, p. 41-53, 1986.
- YU, L.; DEAN, K.; LI, L. Polymer blends and composites from renewable resources. *Progress in Polymer Science*, v. 31, p. 576-602, 2006.