

Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicais

Characterization and evaluation of the antioxidant properties of biodegradable films incorporated with tropical fruit pulps

Emanuelle Andrade Dantas^I Samantha Serra Costa^I Lindaiá Santos Cruz^I
Wagner Barbosa Bramont^I Aline Silva Costa^I Francine Ferreira Padilha^{II}
Janice Izabel Druzian^{III} Bruna Aparecida Souza Machado^{I*}

RESUMO

O trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar embalagens ativas flexíveis formuladas pela incorporação de polpas de frutas tropicais a uma matriz polimérica de amido de mandioca plastificada com glicerol, avaliando as propriedades mecânicas, de barreira e a eficácia antioxidante destas embalagens durante o armazenamento. As embalagens foram produzidas por casting, com concentrações fixas de amido de mandioca (4,5%) e glicerol (1,0%), e concentrações de polpa de manga, acerola e seriguela entre 5 e 20%. Foram caracterizadas as propriedades de barreira (espessura, umidade, sólidos totais, atividade de água e solubilidade) e propriedades mecânicas dos filmes. A ação antioxidante dos aditivos incorporados foi avaliada através do armazenamento do azeite de dendê embalado com os filmes contendo os aditivos naturais, monitorando a sua oxidação por 40 dias, sob condições de oxidação acelerada (63%UR/30°C). A adição das polpas de frutas aos filmes promoveu um aumento da resistência mecânica. Os filmes com as polpas incorporadas desempenharam efeito antioxidante sobre o azeite de dendê durante os 40 dias de armazenamento, podendo ser aplicados para o controle da oxidação deste produto.

Palavras-chave: polpa de fruta, embalagem ativa, antioxidantes naturais.

ABSTRACT

This research aimed to develop and characterize flexible active packages formulated by the incorporation of pulps from tropical fruits to a polymeric matrix of manioc starch, plasticized with glycerol. The mechanical properties, the barriers and the antioxidant efficacy of these packages were evaluated during storing. The packages were produced by casting, with fixed concentrations of manioc starch (4.5%) and glycerol (1.0%), and variable concentrations of mango, acerola and seriguela pulps between 5 and 20%. The barrier properties (width, humidity, total solids, water activity and solubility) and the mechanical properties

of the films were evaluated. The antioxidant action of the additives incorporated was evaluated through the storage of palm oil packed with the films containing the natural additives. Its oxidation was monitored for 40 days, under conditions of accelerated oxidation (63%UR/30°C). The addition of fruit pulps to the films promoted an increase of the mechanical resistance. The films with the added pulps performed an antioxidant effect on the palm oil during the 40 days storage, which could be applied for the oxidation control of this product.

Key words: fruit pulp, active package, natural antioxidants.

INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, as embalagens foram desenvolvidas com a finalidade de proteção do alimento, sem apresentar nenhum tipo de interação com ele. Atualmente, existe grande interesse no desenvolvimento de novos tipos de embalagens, como as ativas, que interagem de maneira intencional com o alimento, prolongando sua vida de prateleira ou conferindo características sensoriais e/ou nutricionais desejáveis (ALMEIDA et al., 2013). A utilização de produtos de origem natural para o desenvolvimento de uma embalagem biodegradável com ação antioxidante é de grande interesse para a indústria de alimentos e para a sociedade, visto que se trata de uma embalagem que traz benefícios para o alimento e para o meio-ambiente. Diversos estudos têm desenvolvido novos sistemas de embalagens, utilizando matrizes biodegradáveis, principalmente o amido, e aditivos naturais, geralmente

^IDepartamento de Alimentos e Bebidas, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), 40650-010, Salvador, BA, Brasil. E-mail: brunam@fiob.org.br. *Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Biotecnologia, Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju, SE, Brasil.

^{III}Departamento de Bromatologia, Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil.

planejadas para corrigir deficiências das embalagens passivas, e sendo portanto chamadas de embalagens biodegradáveis ativas.

Dentre os diversos tipos de embalagens ativas, as que exercem efeito antioxidante são consideradas as mais importantes para a indústria. A oxidação é uma das reações de degradação mais importantes que ocorrem nos alimentos, limitando a conservação deles (NERÍN et al., 2008). Ao se realizar a incorporação de antioxidantes naturais a filmes biodegradáveis, ocorrem simultaneamente alterações das propriedades mecânicas, térmicas e de permeabilidade ao vapor de água (MACHEIX et al., 1999). Nesse sentido, as frutas, por possuírem quantidades significativas de fibras, podem contribuir simultaneamente como aditivo para reforço mecânico e térmico nos filmes, além de desempenhar uma ação antioxidante. Com isso, este trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar embalagens ativas flexíveis, formuladas pela incorporação de polpas de frutas tropicais a uma matriz polimérica de amido de mandioca plastificada com glicerol, avaliando as propriedades mecânicas, de barreira e a eficácia antioxidante destas embalagens durante o armazenamento de um óleo vegetal, no caso, o azeite de dendê.

MATERIAL E MÉTODOS

Os filmes foram preparados por *casting*, que consistiu de uma solução filmogênica, composta por amido de mandioca (4,5%), glicerol (1,0%) e polpas de frutas (manga, acerola e seriguela) em diferentes concentrações (5, 10, 15 e 20% de cada fruta). A solução foi aquecida até 70°C, sob agitação. A solução filmogênica foi transferida para placas de poliestireno (40g/placa) e secas em estufa com circulação de ar (30°C/20horas). Um filme preparado sem a adição da polpa de fruta foi utilizado como controle (C1).

A espessura foi determinada através da média dos valores obtidos em seis medições em posições aleatórias (micrômetro digital Mitutoyo de ponta plana - resolução de 1µm). As medições de aw foram realizadas com um decágono, LabMaster, com controle de temperatura (25°C). A umidade foi obtida por secagem no infravermelho (Shimadzu), com intensidade da radiação emitida de modo que a amostra atingisse 110°C. A solubilidade, em água, das formulações foi determinada de acordo com GONTARD et al. (1994). Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina de ensaios Brookfield – Braseq

(CT310K), com carga máxima de 10KN, seguindo a norma ASTM D-882 (2001), com velocidade de 0,5mm^s⁻¹, temperatura de 25°C, carga de trigger de 7g, ponta de prova TA3/100 e dispositivo TA/TPB. Foram realizados ensaios de tração em seis corpos de prova de dimensões de 50mm de comprimento e 25mm de largura para cada amostra.

As diferentes embalagens contendo polpas de frutas (5 a 20%) foram utilizadas para embalar azeite de dendê (10ml), na forma de sacos retangulares (5x2cm - 10cm²) com o intuito de investigar o comportamento de cada aditivo incorporado na embalagem durante armazenamento (0, 10, 20, 30 e 40 dias), sob condições de oxidação acelerada (63%UR, 30°C). Como controles, foram utilizados o azeite embalado no filme sem polpa de fruta (C1) e o azeite de dendê exposto, ou seja, sem embalagem (C2). A estabilidade oxidativa do azeite de dendê em resposta à ação antioxidante das embalagens ativas foi monitorada através do índice de peróxido (IP), determinado por titulometria, de acordo com a metodologia da AOAC Cd 8b-90 (2000). A estabilidade dos antioxidantes incorporados nas embalagens ativas também foi monitorada por 40 dias, através da determinação, em triplicata, da concentração dos compostos fenólicos totais nos filmes, por espectrofotometria, conforme LARRAURI et al. (1996). Os resultados foram tratados pelo Teste de Tukey para identificar a existência de diferenças significativas ao nível de 95% de significância, para cada parâmetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os resultados das propriedades de barreira e ensaios mecânicos das embalagens ativas. Os valores para espessura variaram de 0,08 (controle) a 0,20mm (S20), com diferenças significativas (P<0,05) entre as formulações, com diferentes concentrações da mesma polpa de fruta incorporada como aditivo antioxidante. Todas as embalagens apresentaram espessura superior ao filme controle (sem aditivo), sugerindo que a incorporação das polpas de frutas pode elevar a espessura das embalagens, o que, conseqüentemente, promove aumento das suas propriedades de barreira. Diversos estudos que desenvolveram filmes elaborados por *casting* com a mesma matriz e plastificados com açúcar invertido e sacarose, com incorporação de extrato e azeite de dendê (GRISI, 2008), cacau e extrato de café (SILVA, 2009), relatam espessuras que variaram de 0,12 a 0,16mm de 0,11 a 0,14mm, respectivamente, sem diferenças significativas entre

Tabela 1 - Médias (\pm desvio padrão) das análises de caracterização de barreira e dos ensaios mecânicos das diferentes formulações (F), incorporadas com polpa de manga (M), acerola (A), seriguela (S) e controle (C1). E (espessura - mm); aw (atividade de água); U (umidade - %); ST (sólidos totais - %); S (solubilidade em água - %); PC (pico de carga - g); ϵ (deformação - %).

F	-----Propriedades de Barreira-----				-----Ensaio Mecânicos-----		
	E \pm dp	aw \pm dp	U \pm dp	ST \pm dp	S \pm dp	PC \pm dp	ϵ \pm dp
C1	0,08 \pm 0,01 ^a	0,69 \pm 0,01 ^a	15,53 \pm 0,63 ^a	84,47 \pm 0,63 ^a	81,62 \pm 2,06 ^a	303,67 \pm 14,64 ^a	38,61 \pm 4,82 ^a
M5	0,11 \pm 0,02 ^a	0,70 \pm 0,01 ^a	13,90 \pm 0,52 ^b	86,10 \pm 0,52 ^b	67,42 \pm 0,18 ^b	803,83 \pm 189,25 ^b	29,37 \pm 1,92 ^b
M10	0,14 \pm 0,01 ^b	0,68 \pm 0,01 ^a	12,13 \pm 0,11 ^c	87,87 \pm 0,11 ^c	68,30 \pm 2,25 ^c	771,17 \pm 87,83 ^c	34,78 \pm 1,33 ^c
M15	0,14 \pm 0,01 ^b	0,68 \pm 0,01 ^a	13,70 \pm 0,61 ^b	86,30 \pm 0,61 ^b	62,51 \pm 1,15 ^d	794,67 \pm 82,23 ^d	35,78 \pm 1,56 ^c
M20	0,14 \pm 0,01 ^b	0,68 \pm 0,01 ^a	15,43 \pm 0,15 ^c	84,57 \pm 0,15 ^a	63,53 \pm 1,26 ^c	636,00 \pm 39,71 ^e	33,64 \pm 2,47 ^c
A5	0,13 \pm 0,02 ^b	0,67 \pm 0,01 ^a	12,00 \pm 0,10 ^c	88,00 \pm 0,10 ^c	76,06 \pm 1,31 ^f	645,83 \pm 62,14 ^f	22,83 \pm 2,41 ^d
A10	0,16 \pm 0,02 ^b	0,68 \pm 0,01 ^a	14,43 \pm 0,55 ^c	85,57 \pm 0,55 ^b	74,88 \pm 1,10 ^e	755,33 \pm 75,18 ^e	22,89 \pm 0,94 ^d
A15	0,22 \pm 0,02 ^c	0,66 \pm 0,01 ^a	12,30 \pm 0,66 ^c	87,70 \pm 0,66 ^c	74,63 \pm 2,90 ^e	643,00 \pm 45,58 ^f	18,39 \pm 0,26 ^d
A20	0,25 \pm 0,01 ^c	0,69 \pm 0,01 ^a	10,93 \pm 0,15 ^c	89,07 \pm 0,15 ^c	71,09 \pm 1,89 ^h	500,00 \pm 103,80 ^h	14,77 \pm 1,71 ^e
S5	0,17 \pm 0,01 ^b	0,68 \pm 0,01 ^a	19,20 \pm 0,74 ^d	80,80 \pm 0,74 ^d	75,34 \pm 1,17 ⁱ	816,83 \pm 68,55 ⁱ	34,92 \pm 1,76 ^c
S10	0,18 \pm 0,01 ^b	0,66 \pm 0,01 ^a	18,15 \pm 0,52 ^d	81,85 \pm 0,52 ^d	72,55 \pm 1,48 ^j	793,83 \pm 85,58 ⁱ	27,48 \pm 1,46 ^b
S15	0,18 \pm 0,02 ^c	0,67 \pm 0,01 ^a	18,37 \pm 0,85 ^d	81,63 \pm 0,85 ^d	67,01 \pm 2,83 ^l	815,50 \pm 88,46 ⁱ	30,04 \pm 0,99 ^b
S20	0,20 \pm 0,02 ^c	0,66 \pm 0,02 ^a	19,69 \pm 0,86 ^d	80,31 \pm 0,86 ^d	65,37 \pm 2,08 ^m	726,00 \pm 54,96 ^j	26,41 \pm 0,78 ^b

Valores que apresentam a mesma letra, numa mesma coluna, não apresentam diferenças significativas ($P > 0,05$) pelo Teste de Tukey a 95% de confiança.

C1: filme de amido controle sem polpa incorporada;

M5, A5 e S5: 5% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M10, A10 e S10: 10% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M15, A15 e S15: 15% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M20, A20 e S20: 20% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente.

as formulações ($P > 0,05$). A natureza hidrofílica das fibras presentes nas frutas pode provocar processos de sorção com a água e alterar a espessura dos filmes obtidos (FARIAS et al., 2012).

Os valores de aw variaram de 0,66 a 0,70 entre as formulações, não apresentando diferenças significativas entre si e nem em relação ao controle (0,69), sendo assim considerados produtos de umidade intermediária. Produtos com aw mais baixa, geralmente, estão menos sujeitos à degradação por microrganismos e a alterações químicas (MÜLLER et al., 2008). DA SILVA et al. (2012) caracterizaram filmes de amido contendo nanocelulose, encontrando aw que variaram de 0,46 a 0,63, constatando que as formulações contendo maiores percentuais de nanocelulose possuíam menores aw. Embora a incorporação de compostos bioativos possa modificar as propriedades de barreira dos filmes, ela oferece vantagens adicionais, tais como proteção contra a oxidação lipídica (JIMÉNEZ et al., 2013). Nesse sentido, existe o desafio de encontrar formulações adequadas para retardar a oxidação de lipídeos, que são facilmente oxidados, em produtos com alto teor de gordura.

Os valores obtidos para umidade variaram de 10,93 (A20) a 19,69% (S20). Os

filmes de acerola e manga apresentaram umidades inferiores às encontradas para o controle (15,53%), indicando, assim, que a adição de polpas destas frutas pode diminuir a umidade dos filmes de amido, enquanto que a incorporação da polpa de seriguela aumenta a umidade deles, quando comparado ao controle utilizado no estudo. SOUZA et al., (2011) identificaram que a incorporação de diferentes proporções de polpas de manga e acerola em filmes de amido, aumentam a umidade em relação ao controle, enquanto que SANTANA et al. (2013) demonstraram uma redução da umidade de filmes de quitosana com a incorporação do urucum (de 20,19 a 21,06%). MACHADO et al. (2012) identificaram valores de umidade que variam de 15,50% a 18,78%, para filmes de amido de mandioca incorporados com nanocelulose e extrato de erva-mate, sendo os valores identificados para as formulações inferiores ao controle estudado. A interação entre os aditivos incorporados e o tipo de plastificante utilizado pode influenciar no aumento ou redução da umidade dos filmes de amido (MALI et al., 2004).

Todas as formulações com a incorporação de polpas de frutas apresentaram solubilidade inferior à do controle (81,62%). De forma geral, o aumento na incorporação de polpa nas formulações

promoveu uma redução na solubilidade. Os valores determinados neste estudo foram menores que os encontrados por YAMASHITA et al. (2005) em filmes biodegradáveis a base de amido de mandioca, contendo conservadores como permanganato de potássio e propionato de cálcio, cujos valores variaram de 78,0 a 86,0%. Destaca-se que os sítios hidrofílicos das fibras incorporadas podem interagir com os grupos hidroxílicos do amido de mandioca através de ligações de hidrogênio, e reduzir a solubilidade de água dos filmes. A interação de fibras com componentes de purê de manga pode, também, atuar como barreira ao vapor de água dos filmes, reduzindo sua permeabilidade (SOUZA et al., 2011).

O valor de pico de carga (PC) variou de 500,00 (A20) a 815,50g (S15), apresentando diferenças significativas entre as amostras avaliadas ($P < 0,05$). Destaca-se que as embalagens incorporadas com polpa de seriguela apresentaram os maiores valores para PC, indicando que uma maior força foi necessária para o seu rompimento, demonstrando o aumento da resistência dos filmes. Em relação à deformação, foram encontrados percentuais que variaram de 14,77 (A20) a 34,78% (M10), com diferenças significativas. As amostras com adição

de polpa de fruta apresentaram, com diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as formulações, os menores percentuais de deformação quando comparados ao filme controle. A incorporação das polpas aumenta a resistência das embalagens, deixando-as mais rígidas e, conseqüentemente, reduzindo sua capacidade de deformação. A incorporação de diferentes teores de polpas de frutas aos filmes altera substancialmente suas propriedades mecânicas, devido à formação de uma nova matriz, gerada a partir de interações da água com as fibras e dos componentes da própria matriz com as polpas (SOUZA et al., 2011).

Com relação à ação antioxidante dos filmes sobre o azeite de dendê, de forma geral, observou-se que, após os 40 dias de armazenamento, o produto embalado nas embalagens ativas apresentaram menor percentual de aumento do índice de peróxido (IP) que os controles estudados (C1 - $\uparrow 956,7\%$ e C2 - $\uparrow 1139,5\%$) (Tabela 2), com exceção da formulação M5 ($\uparrow 1138,9\%$) que, ao final do período avaliado, não apresentou diferença significativa em relação a C2. As embalagens incorporadas com 20% de polpa de manga, acerola e seriguela provocaram uma redução de 80 (M20), 65 (A20) e 65% (S20), respectivamente,

Tabela 2 - Índices de peróxidos (meqkg^{-1}) do azeite de dendê embalados em filmes biodegradáveis e nos controles por até 40 dias de armazenamento sob condições de oxidação acelerada (63% UR/30°C) e percentual (%) de aumento durante o período total (0 a 40 dias).

f	-----Índice de peróxido (IP \pm dp)-----					Aumento IP 0-40 (%)
	dia 0	dia 10	dia 20	dia 30	dia 40	
C1	0,37 \pm 0,02 ^{a,A}	0,97 \pm 0,01 ^{a,B}	2,35 \pm 0,22 ^{a,C}	2,90 \pm 0,16 ^{a,C}	3,54 \pm 0,36 ^{a,D}	956,7 ^b
C2	0,38 \pm 0,0 ^{a,A}	0,38 \pm 0,01 ^{a,A}	2,51 \pm 0,01 ^{a,B}	3,29 \pm 0,17 ^{b,C}	4,33 \pm 0,32 ^{b,D}	1139,5 ^a
M5	0,36 \pm 0,03 ^{a,A}	1,17 \pm 0,31 ^{a,B}	1,67 \pm 0,08 ^{b,B}	3,44 \pm 0,78 ^{b,C}	4,10 \pm 0,13 ^{b,D}	1138,9 ^a
M10	0,47 \pm 0,09 ^{b,A}	1,01 \pm 0,04 ^{a,B}	1,34 \pm 0,16 ^{b,B}	1,60 \pm 0,24 ^{c,C}	1,53 \pm 0,30 ^{c,C}	325,5 ^c
M15	0,57 \pm 0,15 ^{b,A}	0,77 \pm 0,05 ^{c,B}	0,89 \pm 0,04 ^{c,B}	0,72 \pm 0,04 ^{d,B}	1,21 \pm 0,18 ^{c,C}	212,2 ^d
M20	0,57 \pm 0,15 ^{b,A}	0,52 \pm 0,06 ^{c,A}	0,76 \pm 0,01 ^{c,B}	0,81 \pm 0,11 ^{d,B}	0,84 \pm 0,07 ^{d,B}	147,4 ^e
A5	0,36 \pm 0,03 ^{a,A}	1,41 \pm 0,24 ^{d,B}	1,90 \pm 0,46 ^{d,C}	2,63 \pm 0,46 ^{a,D}	2,32 \pm 0,16 ^{e,D}	644,4 ^f
A10	0,36 \pm 0,03 ^{a,A}	1,01 \pm 0,04 ^{a,B}	1,27 \pm 0,10 ^{b,B}	1,47 \pm 0,09 ^{c,C}	2,11 \pm 0,01 ^{a,D}	586,1 ^g
A15	0,37 \pm 0,02 ^{a,A}	0,99 \pm 0,16 ^{a,B}	0,97 \pm 0,04 ^{c,B}	1,22 \pm 0,99 ^{c,C}	-	-
A20	0,36 \pm 0,03 ^{a,A}	1,13 \pm 0,14 ^{a,B}	1,39 \pm 0,11 ^{b,B}	1,87 \pm 0,09 ^{c,C}	1,93 \pm 0,05 ^{e,C}	536,1 ^h
S5	0,38 \pm 0,01 ^{a,A}	0,57 \pm 0,02 ^{c,A}	1,61 \pm 0,18 ^{b,B}	2,57 \pm 0,09 ^{a,C}	2,77 \pm 0,53 ^{f,C}	728,9 ⁱ
S10	0,38 \pm 0,01 ^{a,A}	0,52 \pm 0,09 ^{c,A}	2,00 \pm 0,09 ^{a,B}	2,10 \pm 0,09 ^{d,B}	2,26 \pm 0,22 ^{e,C}	594,7 ^g
S15	0,37 \pm 0,02 ^{a,A}	1,14 \pm 0,16 ^{a,B}	1,50 \pm 0,18 ^{b,C}	1,48 \pm 0,24 ^{c,C}	2,50 \pm 0,30 ^{f,D}	675,7 ^f
S20	0,37 \pm 0,02 ^{a,A}	0,48 \pm 0,08 ^{b,A}	0,83 \pm 0,18 ^{c,B}	1,17 \pm 0,16 ^{c,B}	1,92 \pm 0,14 ^{e,C}	518,9 ^h

Valores que apresentam a mesma letra minúscula numa mesma coluna e valores que apresentam a mesma letra maiúscula numa mesma linha não apresentam diferenças significativas ($P > 0,05$) pelo Teste de Tukey a 95% de confiança.

C1: Filme de amido controle sem polpa incorporada;

C2: Azeite de dendê sem embalagem (exposto);

M5, A5 e S5: 5% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M10, A10 e S10: 10% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M15, A15 e S15: 15% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M20, A20 e S20: 20% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente.

no IP do azeite de dendê após os 40 dias de armazenamento, confirmando o efeito antioxidante sobre o produto embalado, quando comparado com C1 (filme de amido sem polpa incorporada). Além disso, observa-se que o IP do azeite foi menor, com o aumento da percentagem de polpa de fruta adicionadas aos filmes, demonstrando que, à medida que se aumenta a concentração de polpa adicionada, aumenta-se o efeito antioxidante dos filmes ($P < 0,05$). Dentre os dois controles avaliados, o azeite exposto (C2) apresentou o maior aumento do IP.

Diferentes estudos relatam a ação antioxidante de filmes biodegradáveis e aditivos naturais, como polpa de manga, acerola, dendê, erva-mate, urucum, α -tocoferol, como compostos ativos antioxidantes (GRISI, 2008; MARINOVA et al., 2008; SOUZA et al., 2011; MACHADO et al.,

2012; SANTANA et al., 2013). REIS (2011) avaliou a atividade antioxidante dos aditivos, polpa de manga e erva-mate quando incorporados em filmes de amido, e constatou que sua adição resulta em menor aumento do IP do azeite de dendê, quando comparado com o controle. O azeite de dendê embalado no filme com 10% de polpa de manga e 30% de extrato de erva-mate apresentou o menor valor para o IP ($86,72 \text{ meqkg}^{-1}$), enquanto que o embalado no controle apresentou um valor de $170,0 \text{ meqkg}^{-1}$, após 45 dias.

Com relação ao monitoramento dos compostos fenólicos totais dos filmes durante o armazenamento, observou-se que ocorreu uma redução nos teores destes compostos nas embalagens (Figura 1 e Tabela 3), sugerindo a existência de uma migração desses compostos dos filmes para o azeite durante o armazenamento. O percentual de redução foi de 50%,

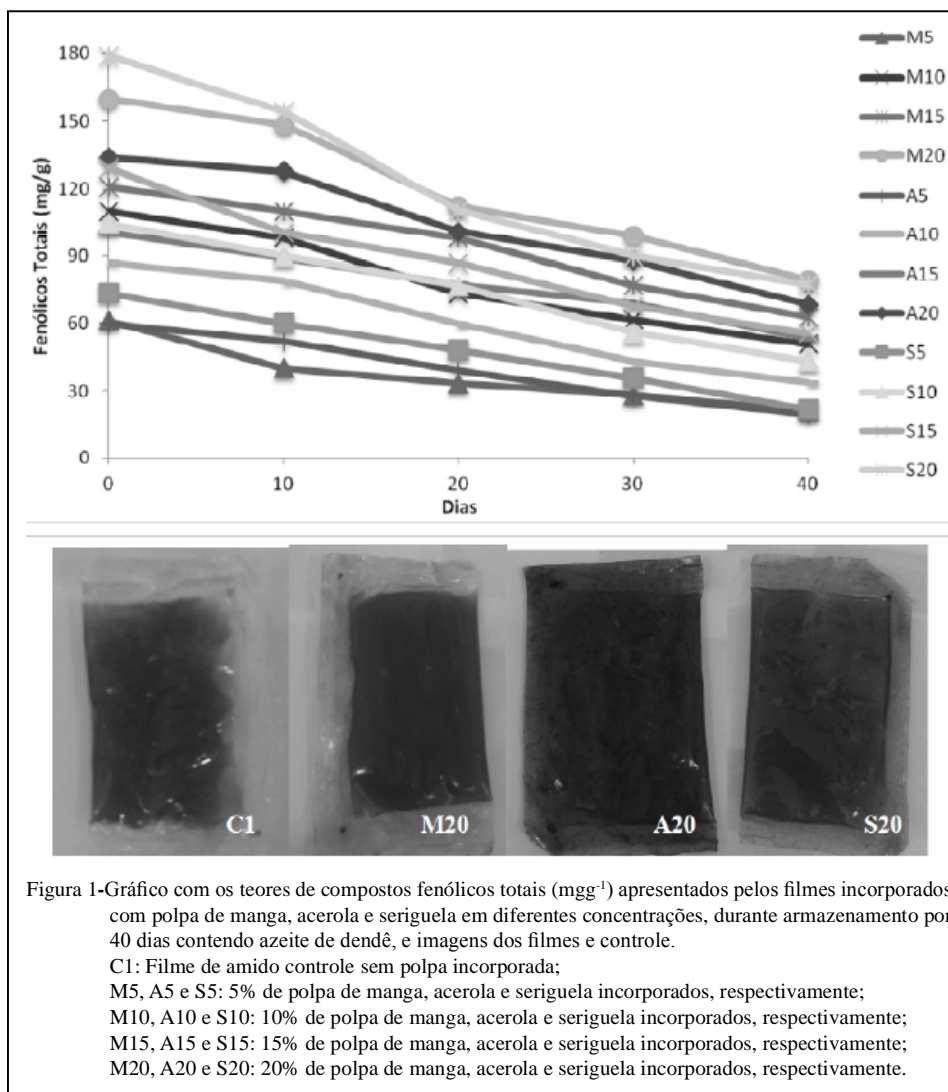


Tabela 3 - Teores de fenólicos totais (mgg⁻¹) apresentados pelas formulações (f) dos filmes biodegradáveis com diferentes percentuais de aditivos incorporados durante armazenamento por 40 dias e seu percentual de redução.

f	Compostos Fenólicos Totais (mg/g)						Redução 0-40 dias (%)
	dia 0	dia 10	dia 20	dia 30	dia 40		
M5	61,33±0,99 ^a	40,17±0,89 ^a	33,45±0,78 ^a	28,17±0,87 ^a	21,15±0,54 ^a	65,51 ^a	
M10	110,14±0,45 ^b	97,98±1,12 ^b	73,32±0,87 ^b	61,65±0,89 ^b	50,76±0,78 ^b	53,91 ^b	
M15	121,09±1,12 ^c	110,07±1,02 ^c	98,03±1,13 ^c	76,97±1,08 ^c	62,89±0,87 ^c	48,06 ^c	
M20	159,98±1,10 ^d	148,19±1,03 ^d	112,17±1,09 ^d	98,89±1,07 ^d	79,45±0,95 ^d	50,34 ^d	
A5	59,89±1,22 ^a	51,76±0,76 ^e	39,12±0,78 ^e	27,87±0,87 ^a	19,33±0,87 ^a	67,72 ^e	
A10	87,08±1,98 ^e	78,98±1,03 ^f	59,77±0,49 ^f	43,12±0,58 ^e	33,87±0,90 ^e	61,10 ^f	
A15	100,33±0,87 ^f	89,12±1,23 ^e	77,55±0,90 ^e	68,98±0,77 ^f	53,23±0,86 ^f	46,94 ^e	
A20	133,78±1,70 ^e	127,76±0,77 ^h	100,87±1,05 ^c	87,92±0,85 ^e	68,49±0,73 ^e	48,80 ^c	
S5	73,44±0,23 ^b	60,01±0,86 ⁱ	48,19±0,43 ^h	35,76±0,83 ^b	21,89±0,88 ^a	70,19 ^h	
S10	104,55±0,98 ⁱ	89,87±0,88 ^e	76,70±0,64 ⁱ	55,67±0,44 ⁱ	43,21±0,32 ^h	58,67 ⁱ	
S15	129,43±1,23 ^f	100,33±0,93 ^b	86,78±0,92 ^j	67,65±0,93 ^f	55,63±0,76 ^f	57,02 ^j	
S20	178,80±1,11 ^j	154,32±1,05 ^j	110,54±0,85 ^d	89,90±0,91 ^e	77,45±0,89 ^j	56,68 ^j	

Valores que apresentam a mesma letra, numa mesma coluna, não apresentam diferenças significativas ($P > 0,05$) pelo Teste de Tukey a 95% de confiança.

M5, A5 e S5: 5% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M10, A10 e S10: 10% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M15, A15 e S15: 15% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente;

M20, A20 e S20: 20% de polpa de manga, acerola e seriguela incorporados, respectivamente.

49% e 56% para os filmes incorporados com polpa de manga, acerola e seriguela, respectivamente. As maiores reduções ao longo do período estudado foram observadas para os filmes com 20% de polpa incorporada. O azeite de dendê embalado na formulação M20 foi o que sofreu o menor processo oxidativo ($0,84 \pm 0,07 \text{ meqkg}^{-1}$), sendo esta embalagem a identificada com o maior teor de compostos fenólicos ao longo de 40 dias ($79,45 \pm 0,95 \text{ mgg}^{-1}$), comprovando assim que a presença destes compostos pode ser a responsável por impedir/retardar a oxidação do azeite de dendê. Os resultados encontrados são consistentes com outros estudos (MACHADO et al., 2012; SANTANA et al., 2013). A principal razão para adicionar antioxidante em filmes é para evitar a formação de peróxidos e radicais livres a partir de reações de oxidação. O mecanismo antioxidante dos compostos fenólicos (VICETTI et al., 2005), bem como a sua eficácia para estabilizar amostras lipídicas são bem conhecidos. Além dos compostos fenólicos, outros compostos antioxidantes, como vitamina C, carotenoides e flavonoides também são encontrados nas polpas estudadas e podem ser responsáveis pela ação protetora do processo de oxidação do azeite embalado.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste estudo evidenciam que o desenvolvimento de filmes contendo antioxidantes a partir de polpa de frutas tropicais como

fonte de compostos ativos incorporados a matriz de amido de mandioca, plastificada com glicerol, é viável, pois pode ser aplicada como embalagem e reduzir consideravelmente a oxidação de alimentos lipídicos. A incorporação de 20% (m/m) da polpa de manga - M20 inibiu significativamente ($P > 0,05$) a oxidação do azeite de dendê embalado, quando comparado com as demais formulações, e com os controles, permitindo assim a sua utilização como embalagem ativa antioxidante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa concedida e ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI - DR BA) pelo apoio ao projeto e disponibilização de infraestrutura adequada

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.M. et al. Propriedades físicas, químicas e de barreira em filme formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata. *Polímeros*, v.23, n.4, p.538-546, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.038>>. Acesso em: 20 jun. 2013. doi: 10.4322/polimeros.2013.038.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). *Official methods of analysis Cd 8b-90*. Washington, 2000. 1141p.

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS). *Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting ASTM D882-00*. Philadelphia, 2001. 9p.

- DA SILVA, J.B.A. et al. Cassava starch-based films plasticized with sucrose and inverted sugar and reinforced with cellulose nanocrystals. **Journal of Food Science**, v.77, p.14-19, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02710.x>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02710.x.
- FARIAS, M. et al. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Química Nova**, v.35, n.3, p.546-552, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000300020>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1590/S0100-40422012000300020.
- GONTARD, N. et al. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapor permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v.29, p.39-50, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>>. Acesso em: 20 jun. 2013. doi: 10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x.
- GRISI, C. **Utilização de derivados do dendê (Elaisguineisijaquim) em embalagens ativas à base de fécula de mandioca com função antioxidante**. 2008. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.
- JIMÉNEZ, A. Physical properties and antioxidant capacity of starch–sodium caseinate films containing lipids. **Journal of Food Engineering**, v.116, n.3, p.695-702, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.010>>. Acesso em: 20 jun. 2013. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.01.010.
- LARRAURI, J.A. et al. Antioxidant activity of wine pomace. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.47, p.369-372, 1996. Disponível em: <<http://www.ajevonline.org/content/47/4/369.abstract>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- MACHADO, B.A.S. et al. Desenvolvimento e avaliação da eficácia de filmes biodegradáveis de amido de mandioca com nanocelulose como reforço e com extrato de erva-mate como aditivo antioxidante. **Ciência Rural**, v.42, n.11, p.2085-2091, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012001100028>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1590/S0103-84782012001100028.
- MACHEIX, J.J. et al. **Fruit phenolics**. Boca Raton: CRC, 1999. 29f.
- MALI, S. et al. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v.56, p.129-135, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.01.004>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1016/j.carbpol.2004.01.004.
- MARINOVA, E. et al. Synergistic antioxidant effect of α -tocopherol and myricetin on the autoxidation of triacylglycerols of sunflower oil. **Food Chemistry**, v.106, n.2, p.628-633, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.022>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.06.022.
- MÜLLER, C.M.O. et al. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate and Polymers**, v.72, n.1, p.82-87, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.07.026>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1016/j.carbpol.2007.07.026.
- NERÍN, C. et al. Behaviour of a new antioxidant active film versus oxidizable model compounds. **Journal of Food Engineering**, v.84, p.313-320, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.027>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.05.027.
- REIS, L.C.B. **Formulação e caracterização de filmes biodegradáveis de fécula de mandioca e incorporados com polpa de manga e extrato de erva mate, e seu efeito na preservação de alimentos**. 2011. 151f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/8805/1/Leticia%20Carib%C3%A9%20Batista%20Reis.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- SANTANA, M.C.C.B. et al. The incorporation of annatto as antioxidant additive based biodegradable packaging chitosan. **Ciência Rural**, v.43, n.3, p.544-550, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000012>>. Acesso em: 20 maio 2013. doi: 10.1590/S0103-84782013005000012.
- SILVA, L.T. **Eficácia da atividade antioxidante e caracterização de embalagens ativas biodegradáveis formuladas com amido de mandioca e derivados de cacau e café**. 2009. 148f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimento) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. Disponível em: <<http://www.pgalimentos.ufba.br/sitenovo/main.asp?view=Detalha.dissertacao&id=21>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- SOUZA, C.O. et al. Mango and acerola pulps as antioxidant additives in cassava starch bio-based film. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, p.2248-2259, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/jf1040405>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1021/jf1040405.
- VICETTI, R. et al. Use of alpha-tocopherol combined with synergists and compared to other antioxidants on the oxidative stability of sardine skin lipids. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.18, n.2-3, p.131-137, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2003.12.010>>. Acesso em: 20 out. 2013. doi: 10.1016/j.jfca.2003.12.010.
- YAMASHITA, F. et al. Biodegradable active packaging for minimally processed fruits and vegetables. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, p.335-343, 2005. Disponível em: <<http://bj.ital.sp.gov.br/index.php>>. Acesso em: 20 out. 2013.