

## **INFLUÊNCIA DA UMIDADE NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE EMBALAGENS EXPANDIDAS BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO DE BATATA ENRIQUECIDAS COM CASCA DE SOJA**

M. O. ENGEL<sup>1</sup>, R. M. S. CAMPOMANES<sup>2</sup>, B. F. BERGEL<sup>2</sup>, E. G. OLIVEIRA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Tecnologia de Alimentos

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia de Materiais

\*e-mail: elizangela.oliveira@ufrgs.br

### **RESUMO**

O poliestireno expandido (EPS) é utilizado em uma variedade de embalagens alimentares, que têm por característica o uso único e, portanto, são descartadas em grande quantidade. Polímeros de Amido Termoplástico (TPS) são substitutos potenciais ao EPS. No entanto, para que embalagens TPS sejam consideradas substitutos viáveis, devem ser investigados mecanismos que aperfeiçoem suas propriedades físicas e mecânicas, principalmente a característica higroscópica. Neste estudo, objetivou-se a caracterizar a cinética de absorção de umidade e o desempenho mecânico de embalagens TPS enriquecidas com casca de soja (TPS+CS) submetidas ao condicionamento em distintas umidades relativas (UR). Empregaram-se faixas de UR similares as encontradas no cotidiano em diferentes regiões do país e estações do ano. Evidenciou-se que incorporar a formulação com teores em torno de 20 % de casca de soja, auxilia na redução da absorção de umidade em embalagens TPS, quando comparadas com um padrão sem adição de fibras.

### **1 INTRODUÇÃO**

O acúmulo de resíduos poliméricos sintéticos derivados de petróleo, principalmente nas grandes aglomerações, gera custos e aumenta o volume de materiais depositados em aterros sanitários. Fator que acarreta problemas ambientais e de saúde pública. Assim impõe-se a necessidade de serem investigados materiais compatíveis mecânica e fisicamente, porém derivados de fontes renováveis não poluentes. Segundo Davis & Song (2006), polímeros biodegradáveis são materiais emergentes oriundos de uma fonte de baixo custo, vantajosos ambiental, socialmente e economicamente.

O poliestireno expandido (EPS) é um polímero utilizado em bandejas para armazenar frutas, em copos descartáveis para café, e em uma variedade de outras embalagens alimentares. Tais embalagens são descartadas em grande quantidade, uma vez que são concebidas como embalagens de uso único (Davis & Song, 2006).

Fomin & Guzeev (2001), apontam que polímeros de Amido Termoplástico (TPS) são substitutos potenciais para embalagens EPS. No entanto, diversos autores chegaram à conclusão de que devem ser investigados mecanismos que aperfeiçoem suas propriedades físicas, principalmente sua característica de absorção de umidade (Salgado et al., 2008; Mello & Mali, 2014). O desempenho mecânico de embalagens TPS

também é afetado por esta característica higroscópica, o que pode comprometer sua aplicação (Mello & Mali, 2014).

Alguns autores demonstraram que a adição de fibras reduz a absorção de umidade em embalagens TPS, no entanto, a incorporação de elevados teores de fibras pode vir a enrijecer a estrutura do material, prejudicando suas propriedades de resistência mecânica (Cinelli et al., 2006). A casca de soja (CS), é um resíduo da agroindústria brasileira, rico em fibras (lignina, celulose e hemicelulose) e disponível em grande quantidade.

Em face disso o presente estudo, objetivou caracterizar o comportamento mecânico e físico de embalagens TPS enriquecidas com casca de soja (TPS+CS) submetidas ao condicionamento em distintas umidades relativas (UR). Empregaram-se faixas de UR similares as encontradas no cotidiano em diferentes regiões do país e estações do ano. Buscou-se relacionar o teor e a granulometria das fibras incorporadas com a capacidade de absorção de umidade e o desempenho mecânico das embalagens TPS após condicionamento. O bom desempenho mecânico das embalagens TPS é essencial para que possam ser indicadas como substitutos potenciais as embalagens de EPS.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Para confecção das espumas de TPS enriquecido com fibras de casca de soja (TPS+CS), utilizou-se água destilada, amido de batata alimentar comercial, Giro Verde LTDA, casca de soja (CS) doada por produtor local e como plastificante álcool polivinílico (PVA), Neon comercial LTDA. O padrão foram espumas de amido TPS de batata sem adição fibras (TPS).

### 2.2 Métodos

#### 2.2.1 Produção das Espumas e Processo de Termo expansão

As pastas de amido foram obtidas a partir da mistura de quatro e cinco componentes (PVA, água, CS e amido em duas formas, gelatinizado e seco). Para obtenção do amido gelatinizado, 20g de amido foram adicionadas a 100 mL de água à 70°C. As misturas foram realizadas por misturador mecânico dupla rosca. Após, a pasta preenche um molde de dimensões 15 cm x 15 cm, que por sua vez é acomodado em prensa hidráulica modelo Solar SL11, segue processo de compressão e termo expansão com parâmetros de 240 s, à 180°C e 2,5 toneladas. As formulações das espumas são indicadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Formulações TPS e TPS+CS.

Amostra	Granul (mm)	Teor de Fibras (%)	Amido	Gel	PVA	Água	Vol molde
			(g)				
TPS	-	-	47	47	6	50	45
G1 10	1,0 > x > 0,71	10	42	42	6	50	50
G1 20	1,0 > x > 0,71	20	37	37	6	60	55
G1 30	1,0 > x > 0,72	30	32	32	6	70	60

Foram investigados três teores de CS (10%, 20% e 30%) e um tamanho de partículas ( $x$ ) para estes teores de CS (G1: 1,0 mm >  $x$  > 0,710 mm). O volume de pasta que preenche o molde e o volume de água variam de acordo com o teor de fibra, como indicado por Gonçalves (2007).

#### 2.2.2 Propriedades Cinéticas

Corpos de prova, com dimensões de 2,5 x 2,5 cm, foram condicionados em estufa à 25±2°C em recipientes hermeticamente fechados com diferentes condições de umidade relativa (UR) (35%, 57% e 88%). As distintas UR foram asseguradas por soluções de ácido sulfúrico com concentrações 20%, 40% e 50% m.m<sup>-1</sup>, correspondendo às respectivas UR de 35%, 57% e 88%. As amostras foram pré-secas em estufa 105°C

durante 24 h. A análise segue com a pesagem das amostras nos tempos de 0, 2, 4, 6, 8, 24, 48, e 72 h. Os valores de UR empregados para os condicionamentos neste estudo buscam simular as faixas de UR encontradas no cotidiano em diferentes regiões do país e estações do ano. O experimento foi realizado em triplicata para cada condição de umidade e formulação.

### 2.2.3 Propriedades mecânicas

Corpos de prova, com dimensões de 2,5 x 10,0 cm, foram condicionados em estufa à 25±2°C em recipientes hermeticamente fechados com diferentes condições de umidade (35%, 57% e 88%), também asseguradas por soluções de ácido sulfúrico (20%, 40% e 50% m.m<sup>-1</sup>), durante 72 h. Após condicionamento, as mesmas amostras foram submetidas a ensaio de tração de acordo com a norma ASTM D638 com velocidade de ensaio de 3 mm/min em máquina de ensaios universal INSTRON 3382. Dez corpos de prova foram ensaiados para cada condição de UR e formulação.

### 2.2.4. Análise estatística

Os dados de absorção de umidade foram ajustados segundo o modelo matemático sugerido por Peleg (1988). A Equação 1 corresponde a equação do modelo,

$$M_{(t)} = M_0 + (t / (k_1 + k_2t)) \quad (1)$$

sendo  $M_{(t)}$  é a umidade no tempo,  $M_0$  é a umidade inicial,  $k_1$  é a constante de fluxo de Peleg ( $h/(g_{\text{água}}/g_{\text{sólidos}})$ ) e  $k_2$  é a constante de capacidade de Peleg ( $g \text{ sólidos} / g \text{ água}$ ).

O *software* Statistica Statsoft for Windows 10.0 foi o programa de estatística empregado. Análises de variância ANOVA e teste de Tukey foram usados para determinar a significância dos resultados encontrados com coeficiente de confiança  $p < 0,05$ .

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Propriedades Cinéticas

A Tabela 2 traz os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o modelo estudado. O modelo de Peleg mostra-se adequado para descrever a cinética de absorção de umidade em embalagens TPS, obtendo  $R^2 > 0,95$ , concordando com resultados observados por Mello & Mali (2014). Ainda, a Tabela 2 apresentada, as constantes de Peleg, de significado físico, onde  $k_1$  representa a transferência de massa, (quanto menor  $k_1$ , maior é a taxa de absorção), e  $k_2$  representa a máxima capacidade de absorção (quanto menor  $k_2$ , maior é a capacidade de absorção).

**Tabela 2** – Coeficientes de Determinação e constantes de Peleg  $k_1$  e  $k_2$ .

		$R^2$	$k_1$	$k_2$
			$h/(g \text{ água} / g \text{ sólidos})$	$(g \text{ sólidos} / g \text{ água})$
<b>UR 35%</b>				
TPS	0,99	74,5	20,5	
G1 10	0,95	47,1	21,2	
G1 20	0,96	60,0	22,0	
G1 30	0,95	55,5	21,6	
<b>UR 57 %</b>				
TPS	0,98	27,3	17,3	
G1 10	0,96	31,6	15,0	
G1 20	0,95	40,1	15,3	
G1 30	0,96	38,0	15,9	
<b>UR 88 %</b>				
TPS	0,977	16,1	9,8	
G1 10	0,955	18,3	8,3	
G1 20	0,963	25,7	8,8	
G1 30	0,943	25,4	7,2	

Todas as amostras apresentam taxas de absorção ( $k_1$ ) maiores de acordo com a elevação da UR de condicionamento. A capacidade de absorção de umidade ( $k_2$ ) das amostras segue o mesmo fenômeno, a capacidade de absorção segue a elevação do conteúdo de umidade ambiente.

Para a condição de UR de 35% e 57% todas as amostras TPS+CS apresentaram maiores taxas de absorção de umidades quando comparadas ao padrão TPS. Para estas mesmas condições de umidade, dentro do grupo das TPS+CS, a amostra G1 20 foi a que

obteve o menor valor para a taxa de absorção de umidade. Este resultado aponta que a incorporação de fibras, a teores inferiores ou superiores a 20%, pode ocasionar maior taxa de absorção de umidade em embalagens TPS, para as condições de umidade relativa mencionadas acima.

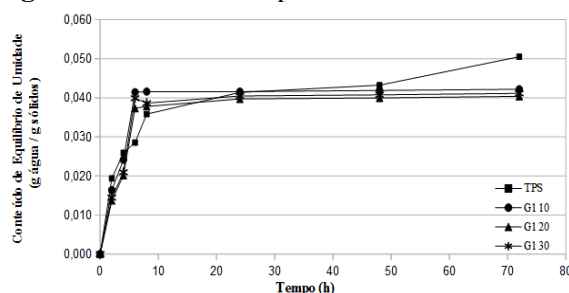
Para a condição de UR de 88%, o padrão TPS mostrou maior taxa de absorção de umidade ( $k_1=16,1$  h/(g)água/(g)sólidos), quando comparada com as amostras incorporadas de casca de soja. Dentro do grupo das TPS+CS, e para esta mesma condição, a amostra G1 20 foi a que obteve a menor taxa de absorção de umidade ( $k_1= 25,7$  h/(g)água/(g)sólidos). Este resultado evidencia que, para a condição de umidade ambiente de 88 %, a adição de casca de soja reduziu a taxa de absorção de umidade em embalagens TPS.

As Figura 1.a, 1.b e 1.c, apresentam as curvas de absorção de umidade, obtida a partir dos pontos experimentais. As amostras de mesma formulação, expostas a condições de umidade relativa mais importantes obtiveram maiores valores de absorção de umidade.

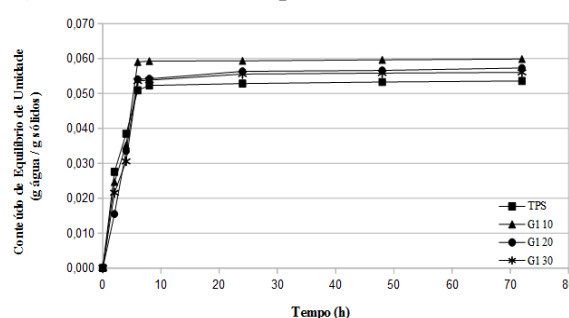
Para a condição de umidade de 35 %, as amostras obtiveram absorções similares, com exceção do ponto final, onde a amostra padrão TPS obtém o maior valor de absorção quando comparada com as amostras TPS+CS.

Para a condição de umidade de 57 %, o padrão TPS foi o que obteve os menores valores de absorção de umidade (0,0536 g água / g sólidos). No grupo das amostras TPS + CS a amostra G1 20 foi a que obteve os menores valores de absorção de umidade. Neste mesmo grupo, as amostras G1 10 e G1 30, obtiveram os maiores valores de absorção. Desta observação conclui-se novamente que a incorporação de teores de fibra acima ou abaixo de 20 % ocasiona um aumento na absorção de umidade das amostras. A observação precedente, é feita também para as amostras condicionadas a UR de 88 %. Resultados similares foram observados em estudos de outros autores (Mello & Mali, 2014 e Gonçalves, 2007).

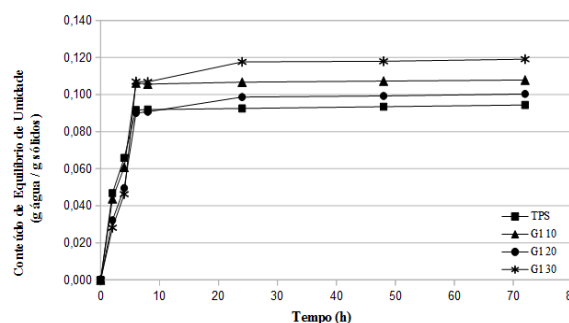
**Figura 1.a - Cinética espumas TPS - UR 35 %**



**Figura 1.b - Cinética espumas TPS - UR 57 %**



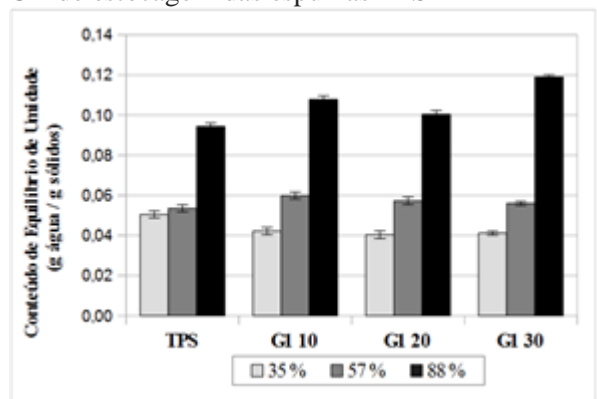
**Figura 1.c - Cinética espumas TPS - UR 88 %**



A Figura 2 traz os valores inteiros finais de absorção de umidade, para melhor visualização da influência da UR, em 72 h de exposição, nos três ambientes úmidos. Para a condição de 35% as amostras do grupo TPS+CS apresentaram valores finais de umidade inferiores ao padrão TPS. Para as condições de umidade 57 % e 88%, dentro do grupo TPS+CS, a amostra G1 20 foi a que absorveu menos umidade durante o período de estocagem.



**Figura 2** - Absorção de umidade em função das UR de estocagem das espumas TPS



### 3.2 Propriedades Mecânicas

A Tabela 3 traz os valores da propriedade mecânica de tensão. O condicionamento a UR intermediária de 57% foi o que obteve os maiores valores de resistência a tração. As amostras TPS em contato com a UR de 88% mostram menor resistência e decaimento que incida que o teor de umidade absorvido pelas amostras atua como plastificante. Amostras condicionadas a UR de 35%, também obtiveram menores valores de resistência, uma vez que tornaram-se excessivamente frágeis.

Nota-se que o TPS mostrou-se mais duro e com maior resistência a tração na ruptura quando comparados aos TPS+CS. A observação dos resultados mecânicos mostra que a adição de fibras (casca de soja), fragilizou as amostras. Resultados semelhantes foram descritos por Salgado (2008) e Cinelli (2006).

**Tabela 3** - Propriedade mecânica de Tração das espumas TPS.

Tensão da Carga Máxima			
KPa			
UR	35%	57 %	88 %
TPS	1117,0	1023,0	856,0
G1 10	916,0	834,0	756,0
G1 20	814,0	742,0	732,0
G1 30	576,0	557,0	493,0

## 4 CONCLUSÃO

O modelo de Peleg descreve corretamente o fenômeno de absorção de umidade em espumas de base amilase. As distintas condições de umidade relativa e os distintos teores de fibra incorporados modificam consideravelmente a cinética de absorção e as propriedades mecânicas de espumas TPS.

A incorporação de casca de soja ao teor de 20 %, auxilia na redução da absorção de umidade em embalagens TPS, quando comparadas com um padrão sem adição de fibras. Entretanto, observou-se que, a incorporação de teores de casca de soja, acima ou abaixo de 20%, ocasiona um aumento na absorção de umidade das amostras.

A umidade relativa intermediária de 57% mostrou-se adequada ao condicionamento das embalagens TPS incorporadas de 20% de casca de soja, obtendo bons valores de resistência e taxa absorção e capacidade de absorção intermediárias. Mesmo mostrando-se susceptíveis as condições do ambiente externo, embalagens TPS seguem como uma alternativa vantajosa à aplicação de polímeros de origem fóssil.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CINELLI, P.; CHIELLINI, E.; LAWTON, J.W.; IMAM, S.H. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly (vinyl alcohol). **Polymer Degradation and Stability**, v. 91, p. 1147-1155, 2006.

DAVIS, G. & SONG, J. H. Biodegradable packing based on raw materials from crops and their impact in waste management. **Industrial Crops and Products**, v. 23, p. 147 - 161, 2006.

FOMIN, V. A., & GUZEEV, V. V. Biodegradable Polymers, their present state and future prospects. **Progress in Rubber and Plastics Technology**, v. 17(3), p. 186–204, 2001.

GONÇALVES, L. C. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável tipo espuma a partir de fécula de mandioca**. 2007. 107p. Tese (Doutorado em Engenharia - Materiais) – Universidade de São Paulo, USP, SP, São Paulo, 2007.

MELLO, L.R.P.F.; MALI, SUZANA. Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. **Industrial Crops and Products**, v.55, p.187-193, 2014.

PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**. v. 53, p. 1216 – 1217, 1988.

SALGADO, P. R., SCHMIDT, V. C., ORTIZ, S. E. M., MAURI, A. N., & LAURINDO J. B. Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fiber obtained by baking process. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 435-443, 2008.