

Bandejas expandidas de amido de batata reforçadas com bagaço de malte

Expanded foams from potato starch reinforced by malt pomace

Bandejas de fécula de patata expandida reforzadas con bagazo de malta

Recebido: 16/08/2020 | Revisado: 19/08/2020 | Aceito: 09/09/2020 | Publicado: 11/09/2020

Juliana Cabral da Cruz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1098-6451>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: jujuh.cabral@hotmail.com

Davi Luiz Koester

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-136X>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: davi_l_koester@hotmail.com

Vinicius Gonçalves Deon

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0346-2118>

Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: vinicius.deon@yahoo.com

Barbara Biduski

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9636-0910>

Universidade de Passo Fundo, Brasil

E-mail: babi_biduski@hotmail.com

Sandra Gomes de Amorin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0040-115X>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: amorinuffs@gmail.com

Leda Batesttin Quast

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6938-3666>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: leda.quast@uffs.edu.com

Vânia Zanella Pinto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7081-5446>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: vania_vzp@hotmail.com

Resumo

Objetivou-se desenvolver e caracterizar espumas expandidas à base de amido de batata reforçadas com bagaço de malte. As espumas foram obtidas por expansão térmica em molde fechado, segundo um planejamento 2^2 , avaliando o efeito das concentrações de glicerol e de bagaço de malte sobre as respostas umidade, atividade de água, espessura, densidade, capacidade de absorção de água (CAA) e resistência a tração. Os resultados mostraram que a adição de bagaço de malte resultou em espumas com menores espessuras e conseqüentemente maiores densidades. Apenas a resposta CAA foi significativa para o planejamento 2^2 , sendo possível observar que espumas com maiores teores de glicerol apresentaram os maiores teores de CAA. A adição de bagaço de malte não melhorou a resistência à flexão das bandejas. O ensaio contendo 30% (m/m) de resíduo e 2,5 % (m/m) de glicerol se mostrou mais favorável para ser aplicado em alimentos, pois apresentou baixa umidade (9,42%), espessura de 3,65 mm, baixa densidade ($0,33 \text{ g cm}^{-3}$) e atividade de água (0,477), sendo estes parâmetros desejáveis a adequada conservação das embalagens e dos alimentos contidos.

Palavras-chave: Embalagem biodegradáveis; Espumas expandidas; Resíduo cervejeiro; *Solanum tuberosum* L.

Abstract

The objective was to develop and characterize expanded foam based on potato starch reinforced with malt pomace. Foams were designed by thermal expansion in closed mold, using a factorial design 2^2 , evaluating the effect of glycerol and malt pomace content on moisture, water activity, thickness, density, water absorption capacity (WAC) and tensile strength. The addition of malt pomace resulted in foams with less thickness and consequently higher densities. Only the CAA response had significant difference, observing the higher glycerol contents the higher CAA contents. The presence of malt pomace did not improve the resistance of the foams. The test comprising of 30% (w/w) of pomace and 2.5% (w/w) of glycerol was more favorable to be applied as food packaging as it presented low moisture (9.42%), thickness of 3.65 mm, low density (0.33 g cm^{-3}) and water activity (0.477), these parameters being desirable for the proper preservation of packaging and food.

Keywords: Biodegradable packaging; backed foam; brewing residue; *Solanum tuberosum* L.

Resumen

El objetivo era desarrollar y caracterizar espuma expandida a base de almidón de patata reforzada con bagazo de malta. Las espumas se obtuvieron por expansión térmica en molde

cerrado, de acuerdo con una planificación ², evaluando el efecto de las concentraciones de glicerol y bagazo de malta sobre las variables de respuesta a la humedad, actividad del agua, espesor, densidad, capacidad de absorción de agua (CAA) y resistencia a la tracción. Los resultados mostraron que la adición de bagazo de malta dio como resultado espumas con menor espesor y, en consecuencia, mayores densidades. Solo la respuesta de CAA fue significativa, y se pudo observar que las espumas con mayor contenido de glicerol tenían el mayor contenido de CAA. La adición de bagazo de malta no mejoró la resistencia a la flexión de las bandejas. La prueba que contenía 30% (p/p) de residuo y 2.5% (p/p) de glicerol fue más favorable para ser aplicada a alimentos, ya que presentó baja humedad (9.42%), espesor de 3.65 mm, baja densidad (0,33 g cm⁻³) y actividad hídrica (0,477), siendo estos parámetros deseables la correcta conservación de los envases y alimentos contenidos.

Palabras clave: Envases biodegradables; Espumas expandidas; Residuos de la producción de cerveza; *Solanum tuberosum* L.

1. Introdução

O poliestireno expandido (EPS) comercialmente conhecido como Isopor® é produzido pela expansão do poliestireno com pentano ou cloreto de metila através de aquecimento a vapor (Castiglioni et al. 2017). Este polímero é derivado do petróleo e possui propriedade isolante, elevada leveza e resistência mecânica, baixo custo, facilidade de manuseio, sendo amplamente utilizado como isolante térmico, embalagens de transporte e bandejas para alimentos (Engel, Ambrosi, e Tessaro 2019; Ferreira, Molina, e Pelissari 2020). Como embalagem de alimentos, em geral, é utilizada no acondicionamento de carnes, ovos, frutas, hortaliças e alimentos refrigerados (Mello e Mali 2014). Entretanto, as embalagens de EPS são frequentemente descartadas em aterros sanitários, gerando grande volume de resíduo e tornando-se um problema ambiental (Castiglioni et al. 2017). Uma vez que as embalagens oriundas do petróleo podem levar mais de um século para se degradar e apresentam dificuldade na reciclagem, o emprego de materiais de origem renovável e biodegradáveis ganham destaque (Engel et al. 2019; Ferreira et al. 2020; Pier et al. 2019).

O amido é um polissacarídeo produzido pelas plantas superiores, composto pelas macromoléculas amilose e amilopectina, apresenta temperatura de gelatinização entre 58 e 85 °C responsável por cerca de 80% das calorias consumidas pelo homem. Os cereais (trigo, milho, arroz) e os tubérculos e raízes (batata, mandioca) são matérias-primas abundantes e com elevada quantidade de amido (Smith, 2001). Os tubérculos de batata apresentam 80% de amido

(base seca) com teor de amilose de 20-25% (Braun et al. 2010; Chandi e Sogi 2007; Šimková et al. 2013). A razão amilose:amilopectina, bem como a origem botânica do amido influenciam nas suas propriedades, sendo que em presença de água e aquecimento ocorre o inchamento e solubilidade dos grânulos, seguida da formação de pasta viscosa. Outra característica importante do amido, quando aquecido em presença de água é a capacidade de formar espumas, num processo de expansão térmica ou termoexpansão (Engel et al. 2019; Ferreira et al. 2020; Mello e Mali 2014; Sko e Rudolf 2010).

A formação de espumas por termoexpansão ocorre em três etapas. Na primeira etapa, uma mistura de amido com a água é aquecida até atingir a temperatura de gelatinização do amido. Em seguida, com a elevação da temperatura, a água que não foi utilizada para gelatinizar o amido evapora, ocorrendo a formação de uma pasta viscosa que aprisiona o vapor, permitindo a sua expansão. Por fim, com a saída do vapor através da exaustão, ocorre o ressecamento e secagem da massa expandida (Chen et al. 2011; Sko e Rudolf 2010; Soykeabkaew, Thanomsilp, e Suwantong 2015). Este processo é amplamente utilizado para a produção de biscoitos de polvilho e para a produção de espumas expandidas de amido, com características para substituir o EPS (Tavares et al. 2010). A baixa resistência mecânica e a alta hidrofiliçidade limitam as aplicações das espumas de amido como embalagens semi-rígidas para alimentos. Para melhorar essas características, materiais de reforço e plastificantes podem ser adicionados às espumas durante o processo de termoexpansão (Ferreira et al. 2020; Soykeabkaew et al. 2015).

Os materiais de reforço, em geral, apresentam grande quantidade de fibras lignocelulósicas (Engel et al. 2019; Ferreira et al. 2020; Mello e Mali 2014; Pier et al. 2019). Estes materiais têm a finalidade de melhorar as propriedades mecânicas das espumas de amido, como, resistência a tensão, baixa densidade e flexibilidade (Cruz-tirado et al. 2019; Espina, Cruz-Tirado, e Siche 2016; Kaewtatip, Chiarathanakrit, e Riyajan 2018). O uso de celulose derivada de resíduos agroindustriais (Elisa, Andre, e Ine 2013; Schmidt e Laurindo 2010), bem como os resíduos de bagaço de cana de açúcar e casca de aspargos (Pier et al. 2019), bagaço de malte (Mello e Mali 2014), engaço de uva (Engel et al. 2019) e resíduo do processamento de gergelim (Machado, Benelli, e Tessaro 2017) foram estudados para o desenvolvimento de embalagens expandidas de amido, pois são recursos renováveis, abundantes e de baixo custo.

Os plastificantes atuam como agentes de lubrificação, permitindo que as cadeias poliméricas deslizem umas sob as outras, alterando a viscosidade do sistema e aumentando a mobilidade das macromoléculas (Kaewtatip et al. 2014, 2018). A finalidade dos plastificante é melhorar a flexibilidade e o processo de obtenção das espumas (Engel et al. 2019; Machado et al. 2017). Dentre os plastificantes mais utilizados, se destacam os polióis, principalmente o

glicerol, que é coproduto da reação de transesterificação que dá origem ao biodiesel (Engel et al. 2019; Machado et al. 2017).

Desse modo, objetivou-se desenvolver e caracterizar espumas expandidas à base de amido de batata reforçadas com bagaço de malte, produzidas por expansão térmica em molde fechado.

2. Metodologia

2.1 Matéria Prima

Os tubérculos de batata (*Solanum tuberosum* L.), cultivar Astérix, foram cedidos pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro, Guarapuava, PR). O bagaço de malte foi cedido pela cervejaria Brauheim® localizada em Saudade do Iguçu, PR. Todos os reagentes utilizados no experimento foram de grau analítico.

2.2 Extração do amido de batata

Os tubérculos de batata foram descascados em descascador industrial (Metvisa, modelo DB622M60N5, São Paulo), e submersos em solução de 2% de ácido cítrico e 1% de ácido ascórbico por 1h. Após este período, a solução foi descartada e os tubérculos foram moídos em liquidificador industrial (Vitalex, modelo LI-6I, São Paulo), na proporção de 1:3 (m/v) com água filtrada. Em seguida, a massa homogênea foi passada em filtro de tecido, sendo o resíduo retido lavado com água, até se obter um filtrado incolor.

A suspensão líquida foi filtrada em peneira de 200 *mesh* e decantada por 12 h. Após este período, o sobrenadante foi drenado e o amido decantado foi novamente suspenso em água filtrada e deixado para decantar por mais 12 h. Este procedimento foi repetido duas vezes para remover o máximo possível de resíduos de fibras, proteínas e cinzas. O amido resultante foi seco em estufa com renovação de ar a 40 °C por 16 h e, em seguida moído em moinho de martelo (Fortinox, modelo FT - 53, Piracicaba). O teor de amilose foi determinado de acordo com o método proposto por Martinez & Cuevas, (1989).

2.3 Preparo do bagaço de malte

O bagaço, coletado úmido, foi seco em estufa com circulação de ar (Prática Technicook, modelo C20, São Paulo) a 100 °C por 48 h. Após a secagem, o bagaço foi moído em moinho de martelos (Fortinox, modelo FT - 53, Piracicaba) e acondicionado em sacos plásticos a temperatura ambiente.

A distribuição granulométrica do bagaço de malte moído foi avaliada em sistema composto por peneiras (500 µm, 425 µm, 106 µm e 38 µm) e agitado por 10 min. A distribuição granulométrica foi calculada com base na diferença entre a fração retida em cada peneira pela massa total e o resultado foi expresso em porcentagem.

2.4 Análises físico-químicas do amido e do bagaço de malte

A determinação da umidade do amido e do bagaço de malte foi realizada por secagem à 105 °C até peso constante. A determinação do teor de resíduo mineral fixo (cinzas) foi realizada com incineração em mufla a 550 °C por 24 h. Para o bagaço de malte também foram quantificados os teores de proteínas bruta, em destilador de nitrogênio tipo Kjeldahl, com fator de conversão de nitrogênio em proteína de 6,25 e lipídeos totais com extração direta em Soxhlet utilizando éter de petróleo (Zenebon, Pascuet, e Tiglia 2008).

A determinação da capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) do amido de batata e do bagaço de malte seguiram a metodologia descrita por Engel et al., (2019), com modificações. O procedimento consistiu na adição de 10 mL de água destilada ou óleo de soja em 1 g de amostra dentro de tubos de centrifuga de 25 mL. As amostras foram agitadas por 2 min em agitador de tubos tipo vortex (Marconi, Modelo NA162, Piracicaba) e centrifugadas por 10 min a 5000 rpm em centrífuga de bancada (Esteio, Gerber Simplex II, ITR, Brasil). O sobrenadante foi removido e o sedimento úmido teve sua massa mensurada. A CAA e a CAO foram determinadas através da razão entre a massa de água/óleo no sedimento úmido e a massa inicial de matéria seca.

2.5 Elaboração das bandejas expandidas

A elaboração das bandejas expandidas seguiu um planejamento experimental 2^2 , com 3 repetições no ponto central, totalizando 7 ensaios (Tabela 1), tendo como base fixa, a massa seca de amido (16g).

A relação entre as variáveis respostas foi analisada pela Equação 1. As equações do modelo matemático e as figuras de superfície de resposta geradas por essas equações foram usadas para mostrar os resultados significativos.

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_{12}X_1X_2 + \varepsilon \quad \text{Equação 1}$$

Sendo, Y: variáveis respostas; β : coeficiente estimado na superfície de resposta; X: as variáveis codificadas; ε : erro aleatório associado à resposta prevista.

Tabela 1 - Delineamento experimental 2² na elaboração das bandejas expandidas com variação da concentração de bagaço de malte e plastificante.

Ensaio	Variáveis Codificadas (reais)	
	Bagaço de malte (%)	Plastificante (%)
1	-1 (10)	-1(2,5)
2	+1 (30)	+1 (7,5)
3	+1 (30)	-1 (2,5)
4	-1 (10)	+1 (7,5)
5	0 (20)	0 (5,0)
6	0 (20)	0 (5,0)
7	0 (20)	0 (5,0)

Fonte: Autores.

Na elaboração das bandejas foram adicionados 1 % de desmoldante estearato de magnésio e 1 % de goma guar, em relação à massa de amido. Os ingredientes foram misturados com um agitador mecânico de hélice (Marconi, Modelo MA039, Piracicaba) por 1 min. Um tratamento controle foi elaborado contendo amido, estearato de magnésio (1 %), goma guar (1 %) e água (53,6 %).

A suspensão foi disposta em molde bipartido com dimensões de 117 x 64 x 20 mm, pré-aquecido com resistências elétricas tipo cartucho a 180 °C. O molde foi fechado e a expansão do material resultou na formação de bandejas após 4 min de aquecimento. Em seguida, as amostras foram retiradas do molde, resfriadas a temperatura ambiente, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em dessecadores com sílica gel para posterior caracterização.

2.6 Caracterização das bandejas expandidas

A atividade de água das bandejas foi determinada com o auxílio do analisador de atividade de água Novasina AG (CH8863, Novasina AG Lanchem Lab Master, Suíça) operando na faixa de 0 a 1 na temperatura de 25 °C.

A espessura foi determinada com paquímetro digital (0,01 mm) em cinco pontos diferentes de cada amostra e expressa em mm. A determinação de densidade aparente foi realizada pela razão entre a massa e o volume das espumas de amido e expressa em g cm⁻³.

A cor das bandejas foi determinada utilizando colorímetro portátil Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta Optics Inc., Japão) operando no sistema CIE (L*, a*, b*), em que L* é a luminosidade e varia entre preto (zero) e branco (100), a* é a variação entre vermelho(+) e verde (-) e b* é a variação entre amarelo (+) e azul (-). A intensidade e a pureza da cor, Cromo (C*) foi calculada pela Equação 2 e a tonalidade da cor, ângulo *hue* foi determinada pela Equação 3. O ângulo 0 ° representa o vermelho puro, 90 ° amarelo puro, 180 ° verde puro e 270 ° azul puro.

$$\text{Croma (C *)} = (a *^2 + b *^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{hue} = \tan^{-1} \frac{b*}{a*} \quad \text{Equação 3}$$

A CAA foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Carvalho et al., (2018) em que amostras de 2 x 2 cm foram submersas em 100 mL de água destilada a 20 °C após 30 min de imersão. A capacidade de absorção de água foi calculada através da diferença entre a massa inicial e final da amostra e expressa em porcentagem.

A análise morfológica das bandejas foi avaliada em corpos de prova de 2 x 2 cm em microscópio óptico (SZ51 Olympus, Japão), em diferentes ampliações.

Os ensaios de flexão das espumas expandidas foram realizados conforme a norma ASTM D 790-02 (ASTM, 2003), utilizando método de flexão em três pontos, com separação dos apoios de 4,5 cm.

2.7 Análise estatística

Todas as análises estatísticas do planejamento experimental foram realizadas utilizando o software Protimiza®. Os dados ainda foram analisados através de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com nível de significância de 5 %. Todas as análises de

caracterização das formulações foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos com o valor médio \pm desvio padrão.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização das matérias-primas

Após a extração e secagem, o amido apresentou umidade de $17,34 \pm 0,11$ % (Tabela 2), sendo considerado elevado para estocagem prolongada. A umidade do bagaço de malte após a secagem foi de $4,72 \pm 0,01$ %, permitindo o seu armazenamento em condições ambientais. O teor de cinzas foi de $0,09 \pm 0,03$ % e indica baixo conteúdo mineral na amostra. Além disso, elevadas concentrações de minerais resultam na dificuldade de formação das espumas expandidas, devido a possíveis interações destes compostos com a amilose e o plastificante, presentes na formulação (Engel et al., 2019). O teor de amilose dos tubérculos de batata da cultivar Astérix foi de 20,83 %. O teor de amilose influencia em várias propriedades do amido, em especial a sua expansão (Tavares et al. 2010).

Tabela 2 - Análises físico-químicas do amido de batata e bagaço de malte.

	Amido de batata ¹	Bagaço de Malte ¹
Umidade (%)	$17,34 \pm 0,11$	$4,72 \pm 0,01$
Cinzas (%)	$0,09 \pm 0,03$	$2,84 \pm 0,01$
Proteínas (%)	nd	$16,28 \pm 0,33$
Lipídeos (%)	nd	$3,53 \pm 0,50$
CAA (%)	$1,63 \pm 0,07$	$2,95 \pm 0,07$
CAO (%)	$1,52 \pm 0,03$	$1,92 \pm 0,03$

¹Média \pm desvio padrão de cinco determinações. CCA=Capacidade de absorção de água, CCO=Capacidade de absorção de óleo. nd: não determinado. Fonte: Autores.

Após a moagem, o bagaço de malte moído apresentou distribuição granulométrica de 0,9 %, 4,4 %, 87,7 % e 6,8 % da amostra total, retido cada peneira, 500 μ m, 425 μ m, 106 μ m e 38 μ m, respectivamente, com uma perda de 0,2 %. Com isso, conclui-se que o bagaço de malte é composto majoritariamente por partículas de 106 μ m. O tamanho das partículas dos materiais de reforço pode alterar as características de espumas expandidas (Mello e Mali, 2014).

O bagaço de malte apresentou baixos teores de umidade, cinzas, lipídeos, e elevado teor de proteína bruta (Tabela 2). O malte é oriundo da germinação da cevada e o seu bagaço é resultante do processo de mosturação da cerveja. A composição centesimal de resíduos, em especial do bagaço de malte, consiste em fibras, proteínas e amido residual, sendo esta afetada por diversos fatores, tais como a variedade da cevada, o tempo de colheita, os cereais utilizados na maltagem, o processo de mosturação, resíduo de leveduras e obtenção da cerveja (Mello e Mali, 2014). Os teores de cinzas e lipídios reduzidos apresentam pouca influência quando comparado ao teor de proteínas.

As proteínas são componentes desejáveis na produção de espumas expandidas, pois apresentam capacidade de interagir com moléculas vizinhas e formar compostos viscoelásticos, que apresentam forte coesão e dessa forma, são capazes de suportar movimentos mecânicos (Mello e Mali, 2014; Pier et al., 2019; Salgado et al., 2008). Além disso, as proteínas desempenham papel importante na coloração das espumas expandidas, visto que os aminoácidos presentes reagem com os grupamentos carbonila dos polissacarídeos, pelo desenvolvimento da reação de *Maillard* e formação de compostos com coloração escura (Engel et al., 2019).

A CAA e CAO do amido foram inferiores às do bagaço de malte (Tabela 2). De acordo com Denardin & Silva, (2009), a suscetibilidade dos grânulos de amido em água fria e em pequenas moléculas é devido à expansão reversível das regiões amorfas, que penetram na estrutura por difusão durante a hidratação formando uma fase contínua. O amido absorve maior quantidade de água somente quando aquecido, durante o processo de gelatinização (Wang et al., 2015).

A baixa CAO tanto do amido quanto do bagaço de malte são indicativos da sua hidrofobicidade, o que pode ser favorável para aplicações que requerem pouca absorção de óleo, como embalagens de produtos fritos. A baixa afinidade do amido com moléculas apolares se deve a grande quantidade de hidroxilas em sua cadeia polimérica (Wang et al., 2015).

As CAA e CAO do bagaço de malte estão diretamente relacionadas com os seus teores de fibras e proteínas. A capacidade de hidratação das fibras insolúveis, possivelmente é devido à sua composição rica em celulose e hemicelulose, que são hidrofílicas. Por outro lado, a absorção de óleo é devido a presença da lignina que apresenta caráter hidrofóbico (Mello et al., 2013).

3.2 Caracterização das bandejas expandidas

A umidade das bandejas expandidas dos ensaios 1, 2 e 3 apresentaram diferenças entre si ($p < 0,05$) e os ensaios 1, 5, 6, 7 e o controle não apresentaram diferenças ($p > 0,05$) (Tabela 3). Ao comparar o resultado da umidade com a quantidade de glicerol adicionada em cada formulação é possível notar uma tendência entre elas. Quanto maior a porcentagem de glicerol incorporada à formulação, maior a umidade das amostras, independentemente da quantidade de bagaço adicionada. Este comportamento é evidenciado nos resultados da umidade observados para os ensaios 2 e 4, que tiveram maiores concentrações de glicerol incorporados às formulações (7,5 % m/m), mas teores diferentes de bagaço de malte, indicando que o glicerol contribui no processo de absorção de água. A natureza hidrofílica do glicerol permite que mais moléculas de água sejam absorvidas pela estrutura polimérica (Engel et al., 2019; Villar et al., 2017).

Tabela 3 - Umidade, espessura, densidade, atividade de água das diferentes formulações das bandejas expandidas de amido e bagaço de malte.

Ensaio*	Umidade (%)	Espessura (mm)	Densidade (g cm^{-3})	Atividade de água
Controle	$6,57 \pm 0,58^c$	$4,18 \pm 0,21^a$	$0,22 \pm 0,01^d$	$0,403 \pm 0,001^d$
Ensaio 1	$7,11 \pm 0,40^c$	$3,67 \pm 0,21^b$	$0,35 \pm 0,01^{ab}$	$0,525 \pm 0,002^b$
Ensaio 2	$11,06 \pm 0,38^a$	$3,33 \pm 0,23^b$	$0,40 \pm 0,01^a$	$0,471 \pm 0,001^c$
Ensaio 3	$9,42 \pm 0,07^b$	$3,65 \pm 0,30^b$	$0,33 \pm 0,01^{bc}$	$0,477 \pm 0,002^c$
Ensaio 4	$9,59 \pm 0,40^{ab}$	$4,26 \pm 0,34^a$	$0,28 \pm 0,01^c$	$0,564 \pm 0,001^a$
Ensaio 5	$7,55 \pm 0,74^c$	$3,32 \pm 0,42^b$	$0,38 \pm 0,01^{ab}$	$0,505 \pm 0,020^b$
Ensaio 6	$7,56 \pm 0,64^c$	$3,24 \pm 0,32^b$	$0,38 \pm 0,01^{ab}$	$0,510 \pm 0,004^b$
Ensaio 7	$7,43 \pm 0,44^c$	$3,23 \pm 0,41^b$	$0,38 \pm 0,01^{ab}$	$0,51 \pm 0,002^b$

*Média \pm desvio padrão de cinco determinações. **Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias pelo Teste de Tukey a 95% de confiança. Fonte: Autores.

Na terceira etapa do processo da expansão térmica, as espumas secam gradualmente, até apresentarem teores de umidade de até 4 %. Entretanto, ao longo do período de armazenamento as amostras à base de polímeros e plastificantes hidrofílicos tendem a absorver umidade e entrar em equilíbrio com o ambiente (Salgado et al., 2008; Shogren et al., 1998).

Todas as amostras com adição de bagaço de malte apresentaram espessura menor que a amostra controle ($p < 0,05$), com exceção do ensaio 4. Este fenômeno pode estar associado a menor expansão do volume da massa que contém o resíduo, indicando um aumento da densidade das bandejas, o que está relacionado, possivelmente, à fração lignocelulósica do componente adicionado (Machado et al., 2017).

A quantidade de glicerol adicionada não apresentou interferência sobre as espessuras das bandejas. Este comportamento pode ser verificado no ensaio 4 (4,26 mm) produzidas com a menor quantidade de bagaço (10 % m/m) e maior quantidade de glicerol (7,5 % m/m). Stoffel et al., (2015) também adicionaram 7,5 % (m/m) de plastificante e concluíram que este não tem influência sobre as espessuras das bandejas.

A densidade média das amostras sofreu influência do bagaço de malte e do glicerol ($p < 0,05$) (Tabela 3). A menor densidade foi observada na amostra controle, sem adição de bagaço de malte. A densidade é uma importante propriedade física para a aplicabilidade das espumas expandidas, e que é inversamente proporcional à sua capacidade de expansão (Espina et al., 2016; Matsuda et al., 2013; Pornsuksomboon et al., 2016).

Para que o processo de expansão ocorra de forma adequada, a massa de amido deve ter viscosidade adequada para reter as bolhas de ar formadas durante o processamento, sem colapsar, gerando produtos de baixa densidade. O colapso da estrutura expandida se reflete no aumento da densidade desses materiais. Assim, é possível concluir que a adição de bagaço interfere diretamente na matriz polimérica dificultando a expansão do amido, colapsando a estrutura e aumentando a densidade das bandejas (Salgado et al., 2008; Shogren et al., 1998).

A atividade de água das bandejas variou entre 0,403 a 0,564 (Tabela 3). A adição do resíduo diminuiu a atividade de água das bandejas expandidas, como verificado nos ensaios 2 e 3, em que foi adicionado a máxima concentração de resíduo (30 % m/m). Os materiais de reforço adicionados a matrizes poliméricas, em geral, têm a finalidade de promover resistência, flexibilidade e diminuir a higroscopicidade dos sistemas compósitos formados. Dessa forma, as bandejas que apresentam baixa atividade de água são mais resistentes à ataques microbianos e conseqüentemente, tendem a se deteriorar mais lentamente (Oksman et al., 2016).

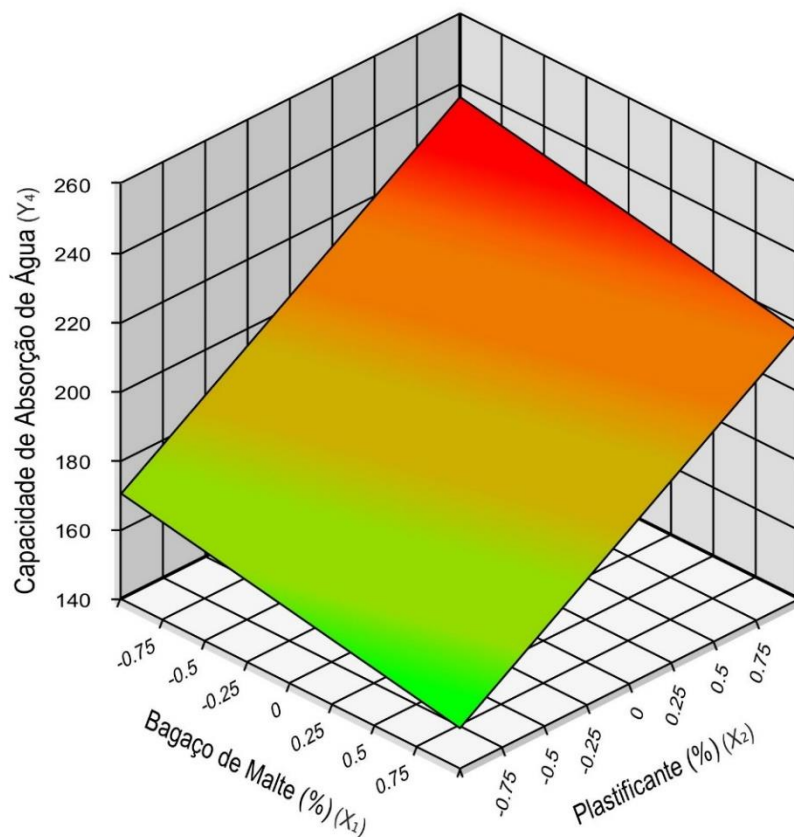
A influência da CAA nas bandejas foi avaliada através da estimativa dos efeitos significativos dos termos individuais e a suas interações utilizando o planejamento de experimentos. O único efeito significativo na CAA é o teor de plastificante adicionado ($p < 0,05$), com coeficiente R^2 de 0,71 (Figura 1). O modelo matemático que descreve este comportamento foi representado pela Equação 4.

$$CAA = 193,76 - 9,42 X_1 + 32,87X_2.$$

Equação 4

Avaliando a superfície de resposta (Figura 1) é possível observar que o quanto maior é a adição de plastificante à formulação, maior é a capacidade de absorção das bandejas expandidas. Este resultado é consequência da estrutura molecular do glicerol que o torna um agente altamente hidrofílico (Stoffel et al., 2015). A superfície de resposta também demonstra que se adicionado o máximo de glicerol (7,5 % m/m) e o mínimo de resíduo (10 % m/m), tem-se a maior capacidade de absorção, de 253,79 % (ensaio 4). Também é possível observar que se for adicionada a mínima quantidade de glicerol (2,5 % m/m) e a mínima quantidade de resíduo (10% m/m), têm-se uma capacidade de absorção de água menor (164,68 %), mostrando assim, que o glicerol influencia significativamente na CAA das espumas expandidas.

Figura 1 - Superfície de resposta para o efeito das concentrações de resíduo (%) e plastificante (%) em função da absorção das amostras após 30 minutos de imersão.



Fonte: Autores.

A luminosidade (L^*) indica a das bandejas expandidas variou de 60,04 (ensaio 3) a 72,04 (amostra controle) (Tabela 4). Com a adição de bagaço de malte, a coloração das amostras sofreu alterações, quando comparadas com a espuma sem adição de resíduo (controle). Quanto maior a quantidade de resíduo incorporada à matriz, mais escura se tornou a espuma, como pode ser visualizado no ensaio 3, que continha 30 % (m/m) de bagaço de malte em sua formulação e foi uma das amostras mais escuras. Pode-se afirmar também que a adição de glicerol não interfere na cor instrumental das bandejas, visto que nos ensaios em que a adição de plastificante foi máxima (7,5 % m/m) e a de resíduo foi mínima, (ensaio 4), apresentou uma luminosidade intermediária (66,19).

A cromaticidade (C^*) das bandejas expandidas variaram de 24,55 a 4,98 para os ensaios 2 e controle, respectivamente. Isto indica que o ensaio 2 apresentou maior saturação da cor, com tons avermelhados e amarelados mais intensos, e o controle não apresentou saturação de cor.

O ângulo *hue* variou entre 85,42 a 74,89 para o controle e ensaio 2, respectivamente. Este resultado indica que o ensaio controle apresentou tons mais acinzentados e o ensaio 2 tons mais amarelados.

Tabela 4 - Luminosidade (L^*), cromaticidade (C^*) e ângulo *hue* (H) das diferentes formulações das bandejas expandidas.

Ensaio [*]	Cor ^{**}		
	L^*	C^*	<i>Hue</i>
Controle	72,04 ± 2,02 ^a	4,98 ± 0,63 ^d	85,42 ± 1,06 ^a
Ensaio 1	68,64 ± 1,79 ^a	17,45 ± 0,59 ^c	79,01 ± 1,05 ^b
Ensaio 2	61,68 ± 1,58 ^c	24,55 ± 1,15 ^a	74,89 ± 0,64 ^d
Ensaio 3	60,04 ± 1,22 ^c	21,52 ± 1,23 ^b	75,85 ± 0,74 ^d
Ensaio 4	66,19 ± 2,16 ^b	18,72 ± 0,98 ^c	78,93 ± 0,86 ^b
Ensaio 5	66,24 ± 0,86 ^b	21,77 ± 0,81 ^b	77,84 ± 0,60 ^c
Ensaio 6	65,24 ± 0,96 ^b	20,77 ± 1,81 ^{bc}	76,44 ± 0,40 ^c
Ensaio 7	64,24 ± 1,86 ^b	22,77 ± 0,61 ^b	77,64 ± 0,90 ^c

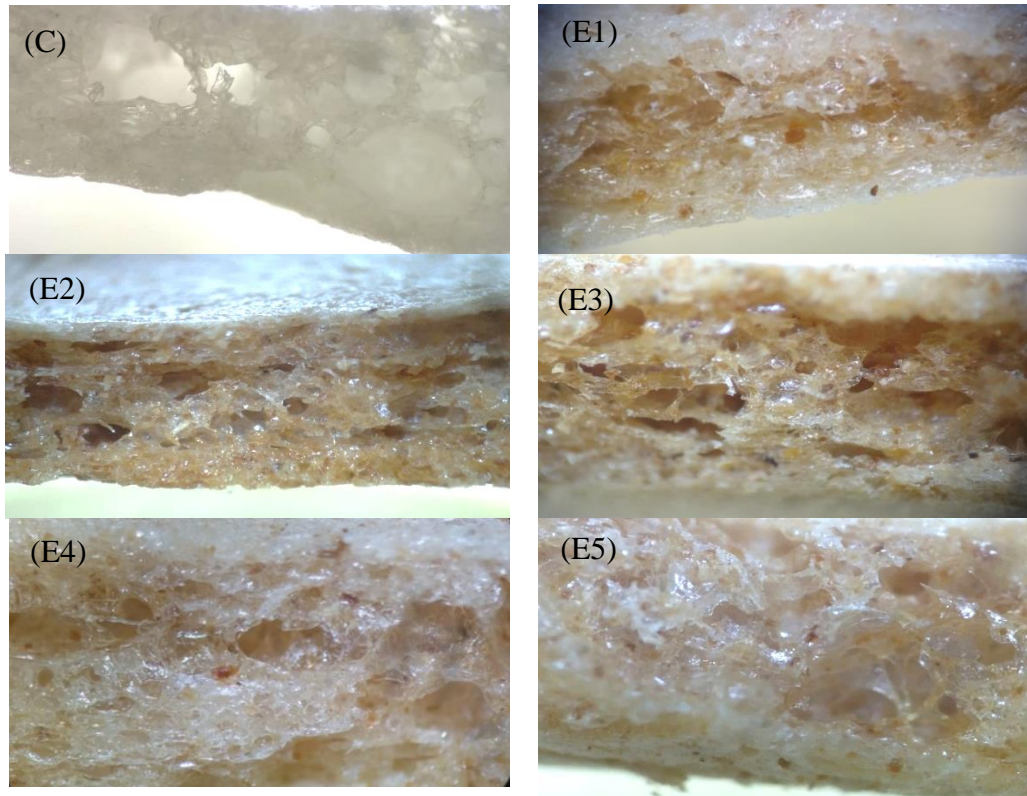
*Média ± desvio padrão de cinco determinações. **Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias pelo Teste de Tukey a 95% de confiança. Fonte: Autores.

A análise morfológica das bandejas expandidas permitiu visualizar os detalhes da termoexpansão da matriz polimérica. Na Figura 2 é possível observar a matriz das bandejas elaboradas com amido puro e das formulações que compuseram o delineamento experimental.

Todas as bandejas mostram uma estrutura do tipo sanduíche que inclui películas externas densas que envolvem pequenas células, sendo considerada a superfície da espuma (Figura 2 A-F). Esta estrutura também foi observada por Matsuda et al., (2013) Mello & Mali, (2014); Soykeabkaew et al., (2015) Pornsuksomboon et al., (2016) que sugeriram que as estruturas surgem pelo processo de expansão do amido. Também foi possível observar a termoexpansão do amido e a formação de sulcos que surgem pela evaporação da água durante o aquecimento no molde. Após a saída do vapor, as espumas elaboradas com amido costumam apresentar uma distribuição heterogênea das células e da densidade, apresentando morfologia composta por superfícies externas densas e interior formado por células abertas maiores, devido à falta de integridade das suas paredes (Machado et al., 2017; Stoffel et al., 2015).

Verifica-se também que houve boa distribuição do bagaço de malte em toda a matriz polimérica, indicando a homogeneidade do material. A boa expansão foi observada com a formação de grandes células aéreas nas Figuras 2 (E1, E3, E4, E5). Houve expansão da massa (ensaio 2 – Figura 2E3), entretanto, a matriz está mais compacta devido a adição excessiva de bagaço de malte, que acabou comprometendo a expansão da massa e, conseqüentemente, aumentando sua densidade.

Figura 2 - Corte transversal das bandejas expandidas de amido reforçadas com bagaço de malte. (C) Controle sem adição de bagaço de malte, (E1) 10% BM/ 2,5% G, (E2) 30% BM/ 7,5% G, (E3) 30% BM/ 2,5% G, (E4) 10% BM/ 7,5% G, (E5) 20% BM/ 5% G, sendo BM – bagaço de malte e G – glicerol.



Fonte: Autores.

A resistência á flexão das bandejas expandidas não foi alterada com a adição do bagaço de malte como reforço e nem com a adição de plastificante. Dessa forma a amostra controle apresentou $2,82 \pm 0,78$ MPa de resistência a flexão, quanto os ensaios 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7 apresentaram $3,24 \pm 0,73$; $2,49 \pm 0,26$, $2,56 \pm 0,46$; $2,91 \pm 0,48$; $3,32 \pm 0,98$; $2,75 \pm 0,70$; $3,39 \pm 0,99$ MPa, respectivamente. Assim, conclui-se que a adição do bagaço de malte e glicerol em diferentes concentrações, não afetaram a flexão das bandejas.

4. Considerações Finais

A incorporação de bagaço de malte nas bandejas expandidas de amido de batata, em excesso, causou redução da espessura média, aumento da densidade. Além disso, promoveu alteração na coloração das amostras, tornando-as mais avermelhadas e amareladas e com menor luminosidade, em relação à amostra controle. A CAA das bandejas à base de amido de batata

com bagaço de malte foi diretamente influenciada pelas maiores concentrações de glicerol incorporados às formulações. Por outro lado, a resistência a flexão das bandejas não foi melhorada com a adição de bagaço de malte.

De acordo com o exposto é possível concluir que dentro dos parâmetros estudados, o ensaio 3 (30% m/m de resíduo e 2,5 % m/m de glicerol) é o que mais se mostrou favorável para ser aplicado em alimentos, pois apresentou baixo teor de umidade, atividade de água e densidade. Estes parâmetros desejáveis a adequada conservação das embalagens e dos alimentos contidos nas mesmas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Chamada MCTIC/CNPq N° 28/2018, processo n° 432181/2018-0 e da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) projeto PES-2019-0248.

Referências

Braun, H., Paulo Cezar, R. F., Fernando L. F., Camilo B., & Cecon, P R.. 2010. “Carboidratos e Matéria Seca de Tubérculos de Cultivares de Batata Influenciados Por Doses de Nitrogênio.” *Ciência e Agrotecnologia Agrotec* 34(2),285–93.

Castiglioni, A., L. Castellani, G. Cuder, & Comba, S. 2017. “Relevant Materials Parameters in Cushioning for EPS Foams.” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 534, 71–77.

Chandi, G. K., & Sogi. D. S. 2007. “Functional Properties of Rice Bran Protein Concentrates.” *Journal of Food Engineering* 79(2), 592–97.

Chen, P., Long, Y., George, P., Simon, X. L., Katherine, D., & Ling C. 2011. “Internal Structures and Phase-Transitions of Starch Granules during Gelatinization.” *Carbohydrate Polymers* 83(4),1975–83.

Cruz-tirado, J. P., R. Vejarano, Arnold Cabanillas, Julio Nun, Hubert Arteaga, and Delia R. Tapia-bla. 2019. “Pineapple Shell Fiber as Reinforcement in Cassava Starch Foam Trays.”

Polymers and Polymer Composites 27(8), 496–506.

Elisa, A. S., Vercelheze, A., & Ine, M. 2013. “Physical Properties , Photo- and Bio-Degradation of Baked Foams Based on Cassava Starch , Sugarcane Bagasse Fibers and Montmorillonite.” 266–74.

Engel, J. B., Ambrosi, A., & Tessaro, I. C. 2019. “Development of Biodegradable Starch-Based Foams Incorporated with Grape Stalks for Food Packaging.” *Carbohydrate Polymers* 225(May),115234.

Espina, M., Cruz-Tirado, J. P. P. & Siche, R. 2016. “Propiedades Mecánicas de Bandejas Elaboradas Con Almidón de Especies Vegetales Nativas y Fibras de Residuos Agroindustriales.” *Scientia Agropecuaria* 7(2), 133–43.

Ferreira, D. C. M., Molina, G., & Pelissari, F. M. 2020. “Biodegradable Trays Based on Cassava Starch Blended with Agroindustrial Residues.” *Composites Part B: Engineering* 183,107682.

Kaewtatip, K., et al. 2018. “The Effects of Egg Shell and Shrimp Shell on the Properties of Baked Starch Foam.” *Powder Technology* 335, 354–59.

Kaewtatip, K., et al. 2014. “Effects of Starch Types on the Properties of Baked Starch Foams.” *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 115(1), 833–40.

Machado, C. M., et al. 2017. “Sesame Cake Incorporation on Cassava Starch Foams for Packaging Use.” *Industrial Crops & Products* 102,115–21.

Martinez, C. Y., & Cuevas, F. 1989. “Evaluacion de La Calidad Culinaria y Molinera Del Arroz. Cali: CIAT. 75p.” *Guia de Estudio Cali* 75 p.

Mello, L. R. P. F., & Mali, S. 2014. “Use of Malt Bagasse to Produce Biodegradable Baked Foams Made from Cassava Starch.” *Industrial Crops & Products* 55, 187–93.

Pier, J., et al. 2019. “The Addition of Sugarcane Bagasse and Asparagus Peel Enhances the Properties of Sweet Potato Starch Foams.” *Packaging and Technology and Science* (October

2017),1–11.

Schmidt, V. C. R., & Laurindo, J. B. 2010. “Characterization of Foams Obtained from Cassava Starch, Cellulose Fibres and Dolomitic Limestone by a Thermopressing Process.” *Brazilian Archives of Biology and Technology* 53(1),185–92.

Šimková, D., et al. 2013. “Effect of Cultivar , Location and Year on Total Starch , Amylose , Phosphorus Content and Starch Grain Size of High Starch Potato Cultivars for Food and Industrial Processing.” *Food Chemistry* 141, 3872–80.

Sko, J., & Rudolf, Z. 2010. “Starch Foam Expansion in a Closed Mold.” *Food and Bioprocess Technology* 3,615–19.

Smith, A. M. 2001. “The Biosynthesis of Starch Granules.” *Biomacromolecules* 2, 335–41.

Soykeabkaew, N., et al. 2015. “A Review: Starch-Based Composite Foams.” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 78,246–63.

Tavares, A. C. K., et al. 2010. “The Effects of Acid and Oxidative Modi Fi Cation on the Expansion Properties of Rice Fl Ours with Varying Levels of Amylose.” *LWT - Food Science and Technology* 43(8), 1213–19.

Zenebon, O, et al. 2008. *Métodos Físico-Químicos Para Análise de Alimentos*. (4a ed.), São Paulo: Instituto Adolfo Lutz.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Juliana Cabral da Cruz – 30%

Davi Luiz Koester – 15%

Vinicius Gonçalves Deon – 10%

Barbara Biduski – 10%

Sandra Gomes de Amorin – 5%

Leda Batestin Quast – 15%

Vânia Zanella Pinto – 15%