



DIMENSIONAMENTO DE DISPOSITIVO EMBUTIDO NA GARRADA DE VIDRO PARA RESFRIAR A CERVEJA

M. A. Rossoni ⁽¹⁾

C. Vogel ⁽²⁾

G. H. F. dos Santos ⁽³⁾

Resumo

No processo de envase é de suma importância avaliar qual a embalagem a ser utilizada para manter as características sensoriais e organolépticas do produto. Segundo a ABRE (2016) a embalagem é o recipiente que irá envolver o alimento a fim de armazená-lo, protegê-lo e estender sua *shelf life* evitando sua deterioração. A embalagem de vidro apresenta diversas características desejáveis como o fato de serem inertes, possuem elevada barreira, são reutilizáveis, recicláveis, entre outras. Entretanto Barbosa et al. (2015), relata que as tendências de alimentação apontam que as pessoas estão em busca de um algo a mais ao adquirir um produto, motivadas principalmente pelo ritmo de vida nos centros urbanos e pelas mudanças verificadas na estrutura tradicional das famílias, fatores que estimulam a demanda por produtos que permitem a economia de tempo e esforço. Logo, o presente trabalho teve por objetivo dimensionar um dispositivo embutido na garrafa de cerveja de vidro que irá promover o resfriamento do líquido quando for acionado. O dispositivo selecionado para ser dimensionado é feito em alumínio, preenchido com o gás dióxido de carbono, atuando com o princípio da expansão endotérmica, a qual ocorre absorvendo calor do meio. O gás escolhido para o dispositivo foi o dióxido de carbono por ser um gás liquefeito, incolor, inodoro e não inflamável. O gás armazenado sob pressão dentro do dispositivo ao ser liberado, por um sistema “click”, irá expandir absorvendo o calor da cerveja. O projetado foi desenvolvido para ser aplicado de forma simples podendo ser utilizado tanto por grandes indústrias cervejeiras quanto por cervejeiros artesanais. Para desenvolver o dimensionamento utilizou-se como base parâmetros de um produto de características semelhantes existentes no mercado. Utilizou-se como referência a garrafa de vidro (*long neck*) com capacidade para 355 mL. Para identificar quanto de gás deve-se adicionar no dispositivo para que haja uma variação de temperatura de 25°C em 5 segundos, iniciou-se calculando a velocidade de saída do gás pela equação de Bernoulli. Em seguida, com o valor obtido e informações coletadas na literatura calculou-se o número de Reynolds para poder em seguida obter o valor do coeficiente de convecção do CO₂. Com o coeficiente de convecção obteve-se o valor do coeficiente global de troca térmica que foi necessário para calcular o calor removido pela expansão térmica e em seguida encontrar o valor final de gás necessário que foi de 100g de CO₂.

Palavras-chave: Dispositivo, auto-refrigerante, envase de cerveja.

1 Introdução

A embalagem é um recipiente ou envoltura que armazena produtos temporariamente, individualmente ou agrupando unidades, tendo como principal função protegê-lo e estender o seu prazo de vida (*shelf life*), viabilizando sua distribuição, identificação e consumo. (ABRE)

A embalagem deve manter a qualidade e a segurança do produto, prolongando sua vida útil e minimizando as perdas do produto por deterioração. Para isso, ela deve controlar fatores como a umidade, o oxigênio, a luz e ser uma barreira aos micro-organismos presentes na atmosfera envolvente, impedindo o seu desenvolvimento no produto (JORGE, 2013).

¹ Graduação em Engenharia de Alimentos – Universidade Federal da Fronteira Sul – Laranjeiras do Sul – PR – Brasil.

² Graduação em Engenharia de Alimentos – Universidade Federal da Fronteira Sul – Laranjeiras do Sul – PR – Brasil.

³ Professor Doutor em Engenharia química – Universidade Federal da Fronteira Sul – Laranjeiras do Sul – PR – Brasil



A embalagem deve também ser constituída por materiais e substâncias que não migrem para o produto, em quantidades que possam por em risco a segurança dos consumidores ou alterar as características organolépticas do produto (JORGE, 2013).

A embalagem primária, como a lata, a garrafa ou o saco está em contato direto com o produto e é normalmente responsável pela conservação e contenção do produto. As embalagens primárias são agrupadas em cargas unitárias, em paletes de madeira ou plásticas, e estabilizadas com filme estirável, termorretrátil ou com cintas (JORGE, 2013).

O vidro é um dos materiais mais antigos que se tem conhecimento. A lenda conta que o vidro foi descoberto ocasionalmente em 5000 a.C. por navegadores fenícios, que desembarcaram em uma praia na Síria. Eles observaram, ao fazerem uma fogueira, que o efeito do calor sobre a areia, o salitre e o calcário das conchas formou uma placa dura, transparente e brilhante. Até 1500 a.C., o vidro tinha pouca utilidade prática e era empregado principalmente como adorno (JORGE, 2013).

As embalagens de vidro apresentam como características o fato de serem inertes, são transparente com possibilidade de se tornarem coloridas, apresentam elevada resistência à compressão vertical, resistem ao choque térmico, possuem elevada barreira, podem se apresentar de várias formas e tamanhos, além de ser reutilizável e reciclável.

A capacidade do vidro de resistir aos choques térmicos depende do módulo de elasticidade, da resistência à tração e principalmente do coeficiente de dilatação. Esta capacidade de resistência é inversamente proporcional a quanto ele se dilata quando aquecido, ou seja, quanto maior for a dilatação térmica, menor será sua resistência a mudanças bruscas de temperatura (JORGE, 2013).

O vidro é considerado como o material de maior inércia química para contato com alimentos, isto é, que não cede substâncias e nem absorve compostos do alimento. Os principais compostos extraídos para soluções aquosas são o sódio e o potássio, que não têm efeitos significativos nas características organolépticas ou em nível da segurança dos alimentos (JORGE, 2013).

Observando-se as tendências de alimentação relatadas por Barbosa et al (2015), percebe-se que as pessoas estão em busca de um algo a mais ao adquirir um produto, “motivadas principalmente pelo ritmo de vida nos centros urbanos e pelas mudanças verificadas na estrutura tradicional das famílias, fatores que estimulam a demanda por produtos que permitem a economia de tempo e esforço”. Logo o presente trabalho tem por objetivo dimensionar um dispositivo embutido na garrafa de cerveja de vidro que irá promover o resfriamento do líquido quando for acionado.

2 Desenvolvimento

O dispositivo selecionado para ser dimensionado é feito em alumínio, preenchido com o gás dióxido de carbono, atuando com o princípio da expansão endotérmica.

Processos endotérmicos são aqueles em que ocorre a absorção de calor. O prefixo endo significa “para dentro”. Visto que nesses processos a entalpia (energia global simbolizada por H) dos produtos é maior que a entalpia dos reagentes, a variação da entalpia (ΔH) ou o calor envolvido nos processos endotérmicos será sempre um valor positivo (FOGAÇA, 2015).

O gás escolhido para o dispositivo foi o dióxido de carbono, que segundo Souza (2016) é um gás liquefeito, incolor, inodoro, não inflamável e levemente ácido. O CO_2 é mais pesado que o ar e é solúvel em água. É um produto derivado da reação de diferentes processos, tais como: a combustão do carvão e dos hidrocarbonetos, a fermentação dos líquidos e a respiração dos seres humanos e dos animais. Também se encontra em fraca concentração na atmosfera terrestre.

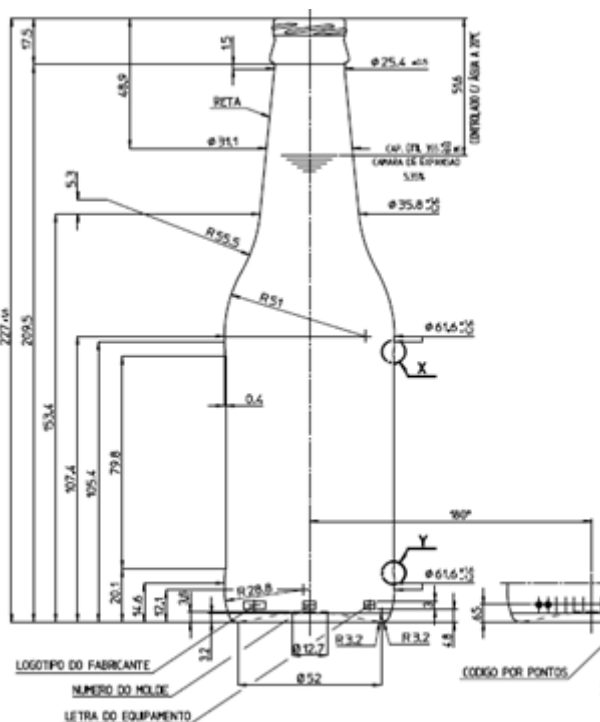
O gás será armazenado sob pressão dentro do dispositivo que ao ser liberado, por um sistema “click”, irá expandir absorvendo o calor da cerveja. Para desenvolver o dimensionamento utilizou-se como base parâmetros de um produto de características semelhantes, a cápsula de CO_2 utilizada para armas de airsoft. De acordo com as informações do fabricante, Swiss Arms (2016), as cápsulas de CO_2 vêm pressurizadas à 250 bar com um conteúdo de 12 gramas de gás.

Como o dispositivo de alumínio estará em contato direto com a bebida é imprescindível a utilização de uma camada de verniz. De acordo com Fellows (2006), para as latas de alumínio que são utilizadas para cerveja podem-se ser utilizados vernizes de butadieno, epóxi-amino ou oleorresinosos, devendo

ser escolhidos de acordo com as características desejadas como resistência ao calor, aderência e/ou preço.

Utilizou-se como referência a garrafa de vidro (long neck) com capacidade para 355 mL com as dimensões apresentadas pelo fabricante na figura a seguir.

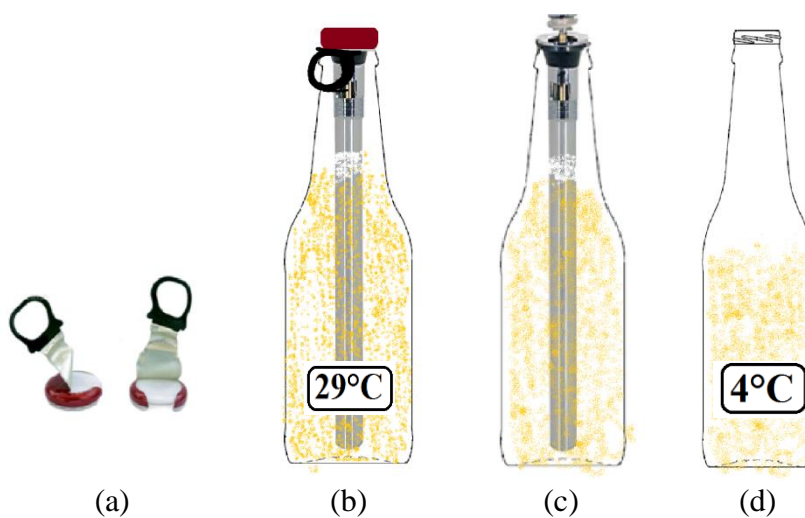
Figura 1 – Medidas da garrafa de cerveja.



Fonte: Verallia (2016).

Estipulado o tamanho da garrafa e o gás a ser utilizado, desenvolveu-se a representação na forma de desenho o protótipo do dispositivo e como ele será disposto na embalagem, que é ilustrado pela figura 2 a seguir.

Figura 2 - Protótipo do dispositivo embutido na embalagem, sendo (a) modelo da tampa, (b) garrafa fechada, (c) garrafa sem a tampa e com o dispositivo acionado e (d) garrafa sem o dispositivo pronta para o consumo.



Fonte: o autor.



Na figura 1 é representado com o dispositivo será disposto na garrafa. Ele ficará encaixado na coroa da garrafa e será lacrado por uma tampa com anel (conforme demonstrado na figura). Assim que a tampa é removida expõe-se o sistema de liberação do gás (estilo “click”), que ao ser pressionado liberará o fluido para o ambiente, após pressionar o botão aguarda-se um tempo que será estimado (5s) e retira-se o dispositivo para enfim ingerir a cerveja.

Baseando-se nas dimensões da garrafa, estabeleceram-se as medidas do dispositivo de forma que caiba no interior da mesma. Sendo: raio interno $r_i=0,009\text{m}$; raio externo $r_o=0,010\text{m}$; comprimento $L_o=0,2\text{m}$; área interna $A_i=0,5038 \times 10^{-6}\text{m}^2$; área externa $A_o=6,28 \times 10^{-5}\text{m}^2$; diâmetro interno $d_i=0,018\text{m}$; diâmetro externo $d_o=0,02\text{m}$.

Como Swiss Arms (2016) utiliza em seu produto similar uma pressão interna de 246,7atm, estimou-se uma pressão interior ($P_1=99\text{atm}$) para o dimensionamento do dispositivo.

Como o Brasil é um país tropical a temperatura ambiente (principalmente no verão que é a estação do ano que mais se consome cerveja por ser uma bebida refrescante) é na faixa de 25°C a 30°C. A temperatura ideal para ingerir cerveja segundo Brejas (2016) é entre 4 a 10°C, logo deseja-se que o dispositivo atue realizando uma variação térmica de aproximadamente 25°C. Desse modo, precisa-se saber qual a quantidade de dióxido de carbono que o dispositivo deve conter a fim de atender à necessidade.

Para calcular a quantidade do CO_2 primeiramente deve-se calcular qual a velocidade que irá adquirir ao ser liberado para o ambiente. A equação de Bernoulli nos fornece que:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Rearranjando e simplificando os termos, vêm:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \times (P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Estimando $P_1=99\text{atm}$, sabendo que $P_2=1\text{atm}$ e obtendo o dado tabelado $\rho=991,08\text{Kg/m}^3$, substituindo vêm:

$$v_2 = 141,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Aplicando v_2 na equação de Reynolds a seguir, sabendo que o diâmetro interno é 0,018m (conforme estipulado anteriormente) e obtendo o dado tabelado $\mu=1,501 \times 10^{-3}\text{Kg/m.s}$, obtém-se:

$$Re = \frac{\rho \times v_2 \times d_i}{\mu}$$
$$Re = 16,8 \times 10^7$$

Após calculado o número de Reynolds calcula-se o coeficiente de convecção do CO_2 , utilizando os dados tabelados $K=0,0166\text{Kg.m/s}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ e $Pr=0,75$.

$$h_o = \frac{0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \times K}{d_i}$$
$$h_o = 71917,63 \frac{\text{Kg}}{\text{s}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Sabendo-se o valor do coeficiente de convecção do gás, consegue-se obter o valor do coeficiente global de troca térmica que é representado pela equação a seguir:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{A_o \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 \times \pi \times K_{\text{alumínio}} \times L_o} + \frac{A_o}{A_i \times h_i}}$$

Para calcular o coeficiente de convecção é necessário saber o número de Reynolds que por sua vez depende da velocidade do fluido, como a cerveja estará parada sua velocidade será zero, logo o segundo termo da convecção irá ser zero também. Substituindo os dados conhecidos na equação do coeficiente global de troca térmica e utilizando o dado tabelado $K_{\text{alumínio}}=237\text{Kg.m/s}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, obtém-se:



$$U_o = 71802,9 \frac{Kg}{s^3 \cdot ^\circ C}$$

Substituindo os valores na equação geral de troca térmica, vêm:

$$Q = U \times A_o \times \Delta T$$

$$Q = 71802,9 \frac{Kg}{s^3 \cdot ^\circ C} \times 6,28 \cdot 10^{-5} m^2 \times -25^\circ C$$

$$Q = -112,91 \frac{J}{s}$$

Para o próximo passo é necessário primeiramente calcular o fluxo de massa do fluido substituindo os dados obtidos anteriormente e o dado tabelado $\hat{v}=0,535m^3/Kg$ na equação a seguir:

$$\dot{m}_s = \frac{v_2 \times A_i}{\hat{v}}$$

$$\dot{m}_s = 13,3 \times 10^7 \frac{Kg}{s}$$

Após obter o fluxo de massa estipula-se qual o tempo desejado para que ocorra a troca térmica, no caso $\Delta t=5s$. Os dados tabelados para substituir na próxima equação são: $Cv_{gás}=17,794 \cdot 10^3 J/mol.K$, $U_{gás}=118,12J/Kg$, $H_{gás}=121,06J/Kg$ e $MM_{co2}=44g/mol$. Pela equação seguinte obtém-se a quantidade de gás que deverá ser adicionado no dispositivo.

$$Q = (m_{Gás} \times MM) \times Cv_{gás} \times \frac{\Delta T}{\Delta t} - \dot{m}_s \times U_{Gás} + \dot{m}_s \times H_{Gás}$$
$$m_{Gás} = 100g$$

Estimando uma pressão inicial de 99atm e tempo de troca térmica de 5s, obteve-se um resultado coerente com o esperado. Visto que é viável utilizar 100 gramas do fluido.

3 Conclusão

O dimensionamento do dispositivo para refrigerar a cerveja na garrafa long neck de vidro se deu de forma satisfatória visto que a quantidade de gás necessária para promover a troca térmica (100g) é razoável e possível de se executar.

Referências bibliográficas

- ABRE. Associação brasileira de embalagens, disponível em: <<http://www.abre.org.br/>>
- BARBOSA. Lívia; MADI. Luis; TOLEDO. Maria Aparecida; REGO. Raul Amaral. **Revista Brasil Food Trends** - Tendências da Alimentação pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), São Paulo, 2015.
- BREJAS. **Temperatura ideal para degustar sua cerveja**. Disponível em:<<http://www.brejas.com.br/temperatura.shtml>>. Acesso em 24 de maio de 2016.
- FELLOWS, P. J. Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- FOGAÇA, Jenifer, **Processos endotérmicos e exotérmicos**, 2015, disponível em: <http://manualdaquimica.uol.com.br/fisico-quimica/processos-endotermicos-exotermicos.htm>
- JORGE, Neuza Embalagens para alimentos / Neuza Jorge. – São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013 194 p.
- SOUZA, Líria Alves De. **"Dióxido de Carbono"**; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/dioxido-de-carbono.htm>>. Acesso em 06 de junho de 2016.
- SWISS ARMS. **Cilindro de CO2 12g**. Disponível em: <<http://www.qgairsoft.com.br/gas-airsoft-cilindro-12g-co2-swiss-arms>>. Acesso em 24 de maio de 2016.
- VERALLIA. **Garrafas de vidro**. Disponível em: <<http://br.verallia.com/catalog/product/cervejas/gfa-ln-190gr-355-gpi9-amb/132>> Acesso em: 24 de maio de 2016.