

## MODELOS PARA ESTIMATIVA DA VIDA-DE-PRATELEIRA DE ALIMENTOS

Na comercialização de alimentos a maior vantagem da utilização de embalagens é o aumento da vida-de-prateleira do produto, por meio de uma adequada proteção contra fatores que implicam em perda de qualidade. Esses fatores podem ser de origem natural, como temperatura, umidade, luz e contaminação ou ser introduzidos pelo homem como vibração, choque, "stress" e danos mecânicos. Os primeiros aceleram a taxa de perda de qualidade enquanto os últimos expõem o alimento embalado a danos ambientais.

Os alimentos se deterioram por meio de três mecanismos: físico, bioquímico e microbiológico, os quais podem ocorrer isoladamente ou em conjunto. Em geral, as três formas de deterioração ocorrem na maioria dos alimentos, entretanto, freqüentemente uma delas é predominante e responsável pela inaceitabilidade do produto.

O primeiro requisito para se definir a vida-de-prateleira de um produto alimentício é quantificar o parâmetro crítico que o torna inaceitável. A seguir, avaliando de alguma forma este parâmetro determina-se o período de tempo em que o produto se mantém aceitável para o consumidor, período este que é definido como vida-de-prateleira ou vida de estocagem. O conhecimento preciso da vida-de-prateleira é necessário para definir o prazo de validade do produto, de modo a atender às exigências legais, além de garantir a satisfação do consumidor.

A estimativa da vida-de-prateleira de alimentos sensíveis à umidade é hoje um assunto dominado. Porém para sistemas alimentícios onde umidade, oxigênio, temperatura e luz atuam conjuntamente, a estimativa da vida-de-prateleira do produto ainda é um desafio e exige estudos complementares. A maneira pela qual a interação desses fatores controla a perda de qualidade não está bem esclarecida. Todavia, modelos estatísticos são úteis na estimativa da vida-de-prateleira global de tais alimentos, desde que as condições ambientais sejam perfeitamente definidas. Os métodos de tais tipos de análises se tornam cada vez mais usuais à medida que cresce a disponibilidade de computadores.

### 1. ALIMENTOS SENSÍVEIS SOMENTE À UMIDADE

Muitos alimentos têm o fim da vida-de-prateleira determinado por ganho ou perda de umidade. Isto é mais comum em alimentos desidratados e de atividade de água intermediária, que precisam ser mantidos a uma umidade específica, que corresponde à sua atividade de água ( $a_w$ ) ótima. Freqüentemente, o ganho de umidade por tais produtos resulta em perda de textura,

crescimento microbiano e aglomeração. A equação fundamental para determinar a taxa de transferência de umidade através de uma embalagem é descrita como:

$$\frac{dw}{dt} = \left(\frac{Pm}{x}\right) A(P_o - P_i) \quad (1)$$

onde:

$w$  = quantidade de água

$t$  = tempo

$Pm$  = permeabilidade do filme ao vapor de água

$x$  = espessura da embalagem

$A$  = área da embalagem

$P_o$  = pressão de vapor de água fora da embalagem

$P_i$  = pressão de vapor de água dentro da embalagem

### 1.1 Condições Ambientais Constantes

No caso de alimentos mantidos à temperatura e umidade relativa constantes, LABUZA *et alii* (1972) demonstraram que se a isoterma de sorção de umidade do produto for ajustada a uma reta da forma:

$$M = ba_w + c \quad (2)$$

onde:

$M$  = conteúdo da umidade ( $gH_2O/g$  sólidos)

$b$  = inclinação da reta da isoterma

$c$  = intersecção da reta com o eixo  $y$

então, o tempo para se atingir certo conteúdo de umidade crítica,  $M_c$ , pode ser calculado pela seguinte equação:

$$t_{ganho} = \frac{\ln[(M_e - M_i)/(M_e - M_c)]}{(Pm/x)(A/w_s)(P_o/b)} \quad (3)$$

$$t_{perda} = \frac{\ln[(M_i - M_e)/(M_c - M_e)]}{(Pm/x)(A/w_s)(P_o/b)} \quad (4)$$

onde:

$M_e$  = umidade de equilíbrio do alimento não embalado

$P_o$  = pressão de vapor da água pura na temperatura do alimento

Entretanto, em muitas situações considera-se bastante simplístico o ajuste da isoterma de sorção de umidade a uma linha reta. As equações de Oswin, Langmuir, BET e GAB descrevem de forma mais precisa algumas das isotermas mais comuns. A equação de GAB se ajusta às isotermas de muitos alimentos com

atividade de água entre 0,1 e 0,9 podendo ser rearranjada na forma de uma equação de segundo grau:

$$\frac{a_w}{M} = \alpha a_w^2 + \beta a_w + \gamma \quad (5)$$

onde

$$\alpha = \frac{K}{M_o} \left( \frac{1}{C} - 1 \right)$$

$$\beta = \frac{1}{M_o} \left( 1 - \frac{\alpha}{C} \right)$$

$$\gamma = \frac{1}{M_o C K}$$

$M_o$  = umidade da monocamada

$K$  e  $C$  = constantes

Os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  podem ser calculados usando-se regressão quadrática (equação 5). A partir de então estima-se a vida-de-prateleira do produto utilizando-se a equação 3 ou 4, conforme for o caso.

As equações 3 e 4 são bastante úteis nos testes acelerados de vida-de-prateleira, onde se expõe o produto embalado a condições ambientais diferentes a fim de avaliar o efeito do volume da embalagem na vida-de-prateleira e para definir os requisitos da embalagem para produtos com umidade inicial diferente. Esses efeitos foram avaliados por LABUZA & MEDELLIN (1981).

## 1.2 Condições Ambientais Variáveis

Em situações reais de estocagem e comercialização de alimentos, a temperatura e umidade relativa do ambiente são variáveis, estando, portanto, o sistema embalagem/produto exposto a estas flutuações. Nestes casos é possível dividir o período total de estocagem em pequenos intervalos nos quais assume-se que a temperatura e a umidade relativa são constantes. A partir de então, por processo iterativo, determina-se a variação no teor de umidade do produto em função do tempo.

## 2. ALIMENTOS SENSÍVEIS À UMIDADE SUJEITOS A REAÇÕES QUÍMICAS

Em muitos alimentos, a perda de qualidade deve-se a um efeito combinado de alteração no teor de umidade e de reações químicas como, por exemplo, o escurecimento não enzimático. Modelos e estimativa de vida-de-prateleira de tais produtos têm sido estudados por muitos pesquisadores, com algum sucesso, somente sob condições ambientais constantes, conforme detalha-se a seguir.

### 2.1 Condições Ambientais Constantes

KAREL & LABUZA (1969) desenvolveram um modelo para estimativa da alteração de umidade no produto, combinando a cinética de reação de várias formas de deterioração com a atividade de água. Os passos envolvidos são:

- quantificar a extensão da deterioração no produto embalado mantido à temperatura e umidade relativa (pelo menos três) constantes e definir o limite de aceitabilidade;
- fazer um gráfico do log do tempo necessário para se atingir a inaceitabilidade versus a atividade de água do produto. Acima do conteúdo de umidade presente na monocamada, geralmente obtém-se uma linha reta para cada temperatura ensaiada (Figura 1);

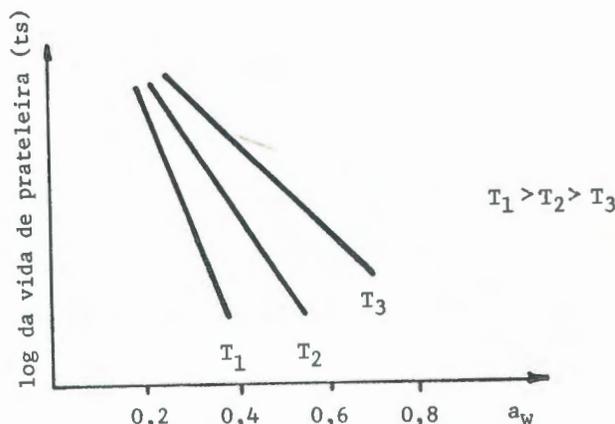


FIGURA 1. Vida-de-prateleira de um produto a várias atividades de água e temperatura.

- determinar o ganho ou perda de umidade em função do tempo, utilizando as equações 3 ou 4 para as condições ambientais (T e UR) adotadas e graficar conforme mostra a Figura 2;

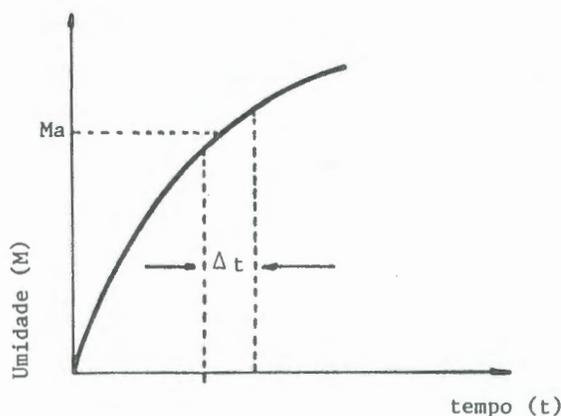


FIGURA 2. Teor de umidade do produto em função do tempo de estocagem.

- dividir o tempo necessário para se atingir a inaceitabilidade em pequenos intervalos e determinar a umidade média ( $M_a$ ) em cada período;

- e. determinar a atividade de água ( $a_w$ ) correspondente ao conteúdo de umidade médio ( $M_a$ ) utilizando a isoterma de sorção de umidade e, então, determinar a vida-de-prateleira por meio da Figura 1;
- f. para reações de ordem zero, a fração consumida da vida-de-prateleira ( $f_c$ ) é calculada como se segue:

$$f_c = \sum \left( \frac{\Delta t}{t_s} \right)_{a_w} \quad (6)$$

## 2.2 Condições Ambientais Variáveis

Ao contrário da estimativa da vida-de-prateleira de produtos mantidos sob condições ambientais constantes, que tem sido testada e se mostrou adequada, a estimativa da perda de qualidade de um produto alimentício, em função do tempo, em condições ambientais variáveis, envolve cálculos bastante complexos. Sugestões de soluções interativas, similares às utilizadas para alimentos sensíveis somente à umidade, têm sido feitas; entretanto não existem, até o momento, dados que comprovem a precisão de tais cálculos.

## 3. ALIMENTOS SENSÍVEIS AO OXIGÊNIO

Muitos produtos alimentícios são sensíveis ao oxigênio, o qual pode determinar o fim da sua vida-de-prateleira por meio de sua ação no crescimento microbiano, oxidação de lípidos, perda de cor e pigmentos, degradação de vitaminas, etc.

Entretanto, para a maioria dos alimentos, a taxa de oxidação depende não somente da pressão parcial de oxigênio, mas também da umidade do produto, intensidade de luz, temperatura, etc.

Não existem modelos simples capazes de prever com precisão a vida-de-prateleira de alimentos sensíveis ao oxigênio. Cada produto alimentício deve ser avaliado individualmente e o modelo para sua vida-de-prateleira deve ser desenvolvido a partir de princípios cinéticos básicos.

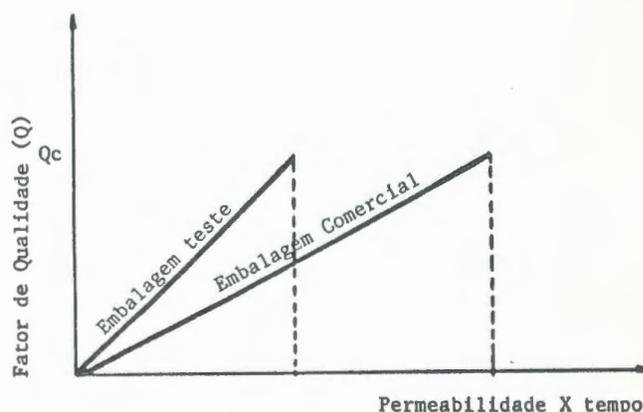
## 4. TESTES ACELERADOS PARA AVALIAÇÃO DA VIDA-DE-PRATELEIRA

Para alimentos sensíveis à umidade é possível acelerar a taxa de transferência de umidade, utilizando condições ambientais mais severas. Por exemplo, para alimentos desidratados que geralmente são estocados a 20°C e 50% de umidade relativa, pode-se acelerar os testes com estocagem a 40-45°C e 90% de umidade relativa. Tal prática aumenta a força motriz responsável pela troca de umidade e a vida-de-prateleira do produto pode ser estimada com precisão razoável e em um menor período de tempo. Outra técnica freqüentemente empregada para acelerar a alteração no conteúdo de umidade do produto é a utilização de embalagens com capacidade menor que a desejada, desde que a razão volume/área da embalagem decresça à medida que se diminui o tamanho da embalagem na mesma proporção

que sua espessura característica. Portanto, para um determinado material flexível a vida-de-prateleira de um produto diminui com a espessura da embalagem.

Em muitas situações, especialmente quando a utilização de temperaturas elevadas acarreta efeitos secundários indesejáveis os testes acelerados de vida-de-prateleira são feitos em embalagens mais permeáveis. Desta forma, se a vida-de-prateleira de um produto for  $t_{s1}$  em uma embalagem com determinada permeabilidade, é possível acelerar a perda de qualidade e, portanto, diminuir a vida-de-prateleira desse produto para  $t_{s2}$ , utilizando-se uma embalagem com as mesmas dimensões da anterior, porém com uma permeabilidade maior. Embalagens com maior permeabilidade, sob condições de teste idênticas, podem ser usadas para estimar as exigências de um produto quanto à permeabilidade da embalagem para uma vida-de-prateleira pré-definida.

Conforme mostrado a seguir, faz-se um gráfico de índice de qualidade versus permeabilidade x tempo, que permite estimar com o uso da equação 7, a permeabilidade que uma embalagem deve ter para que se obtenha uma determinada vida-de-prateleira ou estimar a vida-de-prateleira quando se utiliza um filme com determinada permeabilidade.



$$(Pm \times tempo)_{teste} = (Pm \times tempo)_{comercial} \quad (7)$$

RIZVI, S.S.H. (Departament of Food Science - Cornell University - USA). Tradução de OLIVEIRA, L.M.

### Literatura Consultada

- [1] LABUZA, T.P.; MIZRAHI, S. & KAREL, M. *Transactions American Society of Agricultural Engineers*, 13:150, 1972.
- [2] LABUZA, T.P. & MEDELLIN, R.C. *Cereal Foods World*. 26:335, 1981.
- [3] KAREL, M. & LABUZA, T.P. *US Air Force Contract FAI 609-68-C-0015*, 1969.