

EMBALAGENS INTELIGENTES PARA ALIMENTOS PERECÍVEIS

Claire Sarantopoulos
Luísa Sartori Cofcewicz

Embalagens inteligentes monitoram e comunicam informações sobre o conteúdo e o ambiente ao redor de um produto para o consumidor, o varejista e/ou fabricante. Normalmente tratam-se de acessórios incorporados aos materiais de embalagem de produtos perecíveis, na forma de etiquetas ou rótulos. Enquadram-se nessa categoria: indicadores de tempo-temperatura, de temperatura-localização, indicadores de frescor, indicadores de maturação, indicadores e sensores de gases (oxigênio e gás carbônico), indicadores de umidade, de microrganismos, indicadores de tempo de uso, nariz eletrônico (*e-nose*), etiquetas para rastreabilidade e identificação, sistemas antivolação/ antifurto/antifalsificação e inúmeras outras aplicações. Estes acessórios envolvem biossensores, tecnologias de identificação por rádio frequência (RFID - *Radio-Frequency Identification*), eletrônica impressa, códigos para dispositivos móveis (QR code- *Quick Response Code*), tecnologias de comunicação sem fio (NFC- *near field communication*) e outras tecnologias de informação e comunicação (ICT- *Information and communications technology*).

Certos parâmetros devem ser considerados no desenvolvimento e na especificação de um indicador/sensor inteligente: *design* compatível com a embalagem, nível de sensibilidade (*threshold level*) do sensor à substância que se deseja mensurar ou detectar no alimento, resposta qualitativa e/ou quantitativa, faixa de validade/aplicação do indicador/sensor que deve estar em concordância com o prazo de validade do produto, controle de reversibilidade e controle de migração. Os indicadores/sensores devem também ser estáveis aos fatores extrínsecos, como possíveis variações de umidade e de temperatura, que possam ocorrer durante o armazenamento e comercialização, que não podem afetar a acuracidade do indicador/sensor.

Indicadores de Tempo-Temperatura (ITT) são utilizados para registrar a história térmica e indicar a qualidade, o frescor e a validade de produtos perecíveis durante armazenamento, distribuição e consumo. Mudanças de cor ou de outras propriedades provocadas por variações acumulativas de temperatura, ao longo da vida útil de alimentos e bebidas, permitem que alertas sejam fornecidos de maneira fácil e objetiva através de indicadores inteligentes.

Quando aplicados a embalagens de alimentos, os indicadores de tempo-temperatura ajudam o consumidor a julgar a qualidade do produto que ele está comprando. Pode ser considerado como um indicador de frescor. No momento da compra de alimentos perecíveis os consumidores orientam-se pelo prazo de validade impresso na embalagem, porém este prazo estático só é válido se for respeitada a temperatura indicada pelo fabricante. Quando aplicados a embalagens de alimentos, os indicadores de tempo-temperatura funcionam como uma etiqueta de prazo de validade dinâmico, ajudando o consumidor a avaliar a qualidade real do produto que ele está comprando.

O princípio de funcionamento dos diversos tipos de ITT pode ser químico, físico, biológico ou enzimático. Reações de polimerização, alteração da configuração de elétrons e reações de redução são métodos utilizados no desenvolvimento de indicadores de tempo-temperatura com base em princípios químicos. A formação de polidiacetileno (PDA) pela polimerização de monômeros com grupo acetileno é uma reação que tem sua velocidade controlada pela temperatura ambiente. Um exemplo de aplicação desta reação química está no indicador Fresh-Check, TEMPTIME Corporation (Figura 1). Seu design funcional similar a um olho permite que o consumidor logo identifique seu propósito. À medida que a temperatura de armazenamento aumenta e o tempo de prateleira diminui, a cor da circunferência interna da etiqueta escurece gradualmente na mesma velocidade em que o produto perde sua qualidade. No momento em que a cor interna estiver mais escura que a cor da circunferência externa, o produto não estará adequado para o consumo.



Figura 1. Indicador de tempo-temperatura Fresh-Check: etiqueta de prazo de validade dinâmico.

O indicador de tempo-temperatura OnVu, comercializado pela FreshPoint, funciona com base na configuração eletrônica molecular da substância química utilizada como indicador. Moléculas fotocromáticas em sua configuração eletrônica original são estáveis a variações térmicas. Contudo, podem ser ativadas quando expostas à radiação de luz UV em baixas temperaturas e sua configuração eletrônica será alterada. Passam, então, a ser instáveis a variações térmicas. Esta ativação é feita na linha de empacotamento. No estado ativado as moléculas apresentam tonalidade mais escura e, à medida que o alimento passa por variações térmicas, a cor inicial desvanece até ficar incolor. Para garantir que uma reativação com a luz do sol (UV) não ocorra, um filtro óptico é acoplado à etiqueta. Este indicador é calibrado de acordo com a sensibilidade térmica do produto (Figura 2).

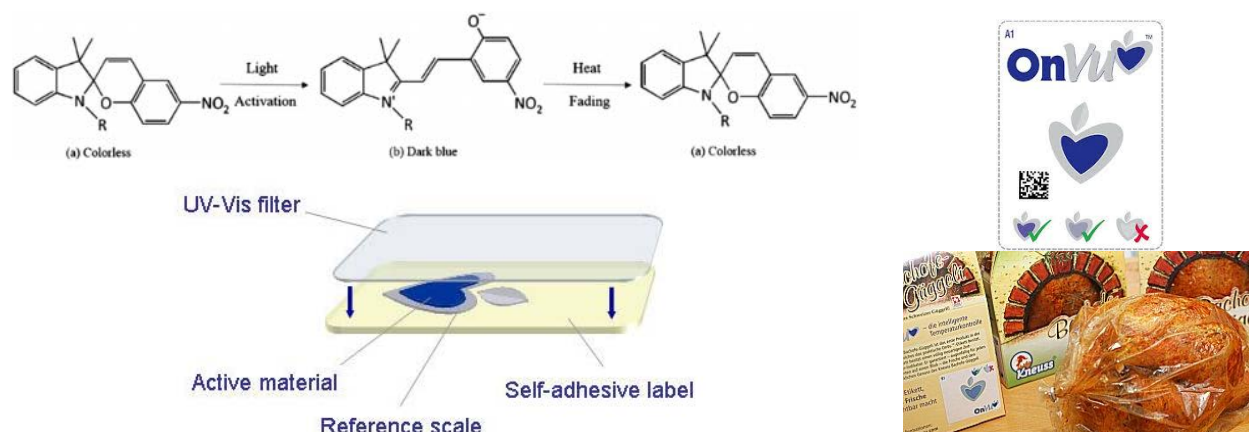


Figura 2. Indicador de tempo-temperatura OnVu: indicador de frescor.

ITT físicos funcionam com base em conceitos de difusão, microeletrônica, atividade de nanopartículas e outros meios. Um indicador físico comercial que funciona via difusão é o Tempix (Figura 3). A substância que sofre difusão tem formato de uma das barras do código de barras do produto. A última barra do código permanece estável até que determinada temperatura externa seja atingida, quando, então, ela muda de estado físico, inviabilizando a leitura do código de barras e, consequentemente, a comercialização do produto.



Figura 3. Indicador de tempo-temperatura: aumento de temperatura leva à difusão de substância que afeta leitura do código de barras e impede a compra de produto alterado.

Reações de hidrólise enzimática de um substrato são utilizadas em **ITT enzimáticos**. As etiquetas CheckPoint (Figura 4), desenvolvidas pela Vitsab, são um exemplo. Nessas etiquetas lipases provocam a hidrólise de um substrato lipídico e reduzem o pH do meio. A acidificação provoca a mudança de cor do centro da etiqueta inteligente, indicando uma alteração na qualidade do alimento. Quanto maior a temperatura maior a velocidade da hidrólise lipídica e, consequentemente, mais rápida a alteração de cor da etiqueta.



Figura 4. ITT CheckPoint: enzima e substrato são mantidos em compartimentos separados até o momento de ativação, quando entram em contato pela quebra mecânica da divisória entre estas substâncias.

Um **ITT biológico**, desenvolvido e patenteado por pesquisadores da Dongguk University industry-Academic Cooperation Foundation, informa o consumidor sobre a história térmica do produto por meio de um código bidimensional, que pode ser escaneado pelo smartphone do consumidor no ponto de venda (Figura 5). Bactérias psicrotróficas que produzem ácido lático ficam retidas em um dos compartimentos da etiqueta. Com o desenvolvimento das bactérias, o ácido proveniente de seu metabolismo provoca uma mudança de pH no indicador, que muda de cor. Como o indicador de pH está posicionado na parte central do código bidimensional (Figura 5), a alteração de cor

altera o resultado do escaneamento, que está diretamente relacionado à qualidade do alimento. Como o metabolismo das bactérias é dependente da temperatura, uma variação térmica afeta seu metabolismo e, por consequência, a leitura do código também será afetada.

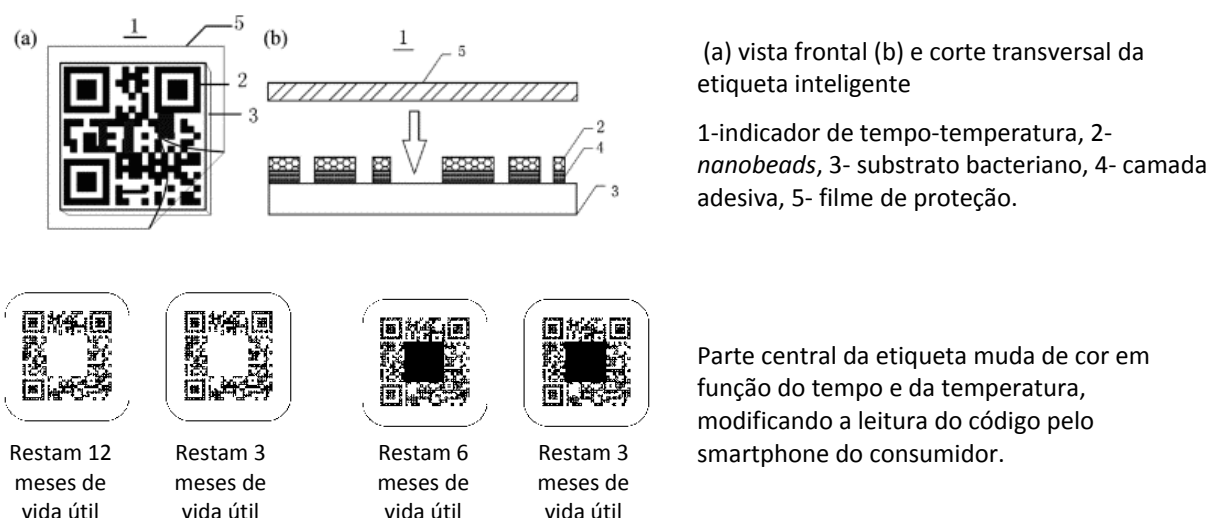


Figura 5. ITT biológico: produção de ácido lático por bactéria modifica leitura de código bidimensional impresso na etiqueta inteligente.

O indicador (eO), desenvolvido pela Crylog (Figura 6), que utiliza o mesmo conceito biológico anterior, é formado por pétalas de gel que permitem o crescimento de microrganismos fermentadores. A mudança de pH, em função do ácido lático produzido durante o crescimento microbiológico, provoca uma alteração da cor da etiqueta, mudando de verde, quando o alimento está bom, para rosa quando houver perda da qualidade.



Figura 6. Indicador biológico de tempo-temperatura: quando a flor estiver verde o produto está fresco.

A identificação por radiofrequência - RFID (*radio frequency identification*) é um sistema eletrônico que pode registrar informações sobre o tempo e a temperatura ao longo da cadeia logística. Etiquetas de radiofrequência TempTRIP (Figura 7) podem ser coladas em embalagens primárias, secundárias ou terciárias. A leitura destas etiquetas RFID pode ser feita em qualquer ponto da cadeia de distribuição e enviada via Internet ao interessado, para rastrear a localização e a condição do produto. A utilização desse sistema em produtos perecíveis previne que um lote sofra *recalls*.



Figura 7. Indicadores de temperatura- localização TempTRIP.

Apesar dos **indicadores de frescor** possuírem funções similares a dos indicadores de tempo-temperatura, esses dispositivos medem direta ou indiretamente a qualidade e o frescor dos produtos. Fatores como natureza do produto, tipo de flora deteriorante, temperatura de estocagem e tipo de embalagem devem ser levados em consideração para uma escolha adequada do indicador de frescor. A flora microbiana presente em alimentos perecíveis produz substâncias em função de seu metabolismo. Tais substâncias podem ser utilizadas como indicadores do grau de deterioração do alimento, desde que sua produção durante a deterioração seja bem conhecida. Os metabólitos não podem estar presentes inicialmente no alimento ou, se estiverem presentes, devem apresentar concentração muito baixa. A taxa de produção dos metabólitos em relação à variação térmica do ambiente de armazenamento é outro parâmetro que necessita ser conhecido. São metabólitos potenciais para alimentos perecíveis as seguintes substâncias:

Alimento	Metabólito
Carne vermelha, frango	Sulfeto de hidrogênio, dióxido de enxofre, produtos de degradação do ATP
Pescado	Trimetilamina, amônia, dimetilamina
Carne vermelha, frango e pescado	Aminas biogênicas (histamina)
Quaisquer alimentos deteriorados por microrganismos	Gás carbônico (substância resultante do metabolismo energético, comum a todos os microrganismos)
Frutas e hortaliças	Etileno, acetaldeídos

O amadurecimento de frutas e hortaliças está diretamente relacionado à concentração de voláteis orgânicos provenientes das transformações fisiológicas da maturação. Quando frutas e hortaliças são agrupadas em embalagens plásticas, vários compostos orgânicos voláteis acumulam no espaço livre e podem ser utilizados como um indicador de maturação. O indicador ripessense (Figura 8), desenvolvido pelo grupo Jenkins da Nova Zelândia, é um indicador de maturação em formato de etiqueta, que facilita a compra de frutas que não tem sua coloração alterada ao longo do

amadurecimento, como as peras. O sensor é inicialmente vermelho e gradualmente muda para laranja e por fim torna-se amarelo, à medida que o fruto amadurece.



Figura 8. Indicador de maturação: ripesense.

A redução de espessura de um filme proteico (gelatina) externo à embalagem pode ser um parâmetro utilizado como indicador de qualidade do produto proteico. Bump Mark (Figura 9) foi um projeto desenvolvido pela Solveiga Pakstaite Brunel University. Um filme plástico para tampas, contendo rugosidades em sua superfície, recebe uma camada de gelatina de espessura suficiente para uniformizá-lo. Como a degradação da gelatina ocorre do mesmo modo que a degradação das proteínas da carne, no momento em que as ranhuras do filme puderem ser sentidas pelo tato do consumidor o produto cárneo não estará mais fresco.

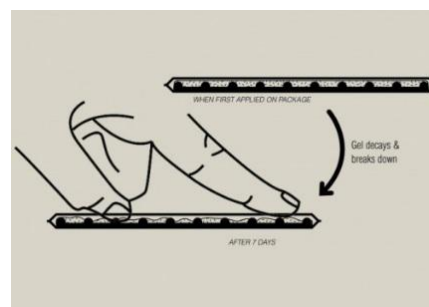


Figura 9. Projeto Bump Mark da Solveiga Pakstaite Brunel University.

A produção de metabólitos pela flora do alimento também serve para **indicar a possível presença de microrganismos** no interior da embalagem. A To-Genkyo desenvolveu uma embalagem inteligente, baseada na reação da amônia, um volátil formado durante a degradação microbológica da carne, com um indicador, causando uma alteração de cor que impede a leitura do código de barras impresso na etiqueta, impossibilitando a venda do produto. O formato de ampulheta da etiqueta inteligente leva o consumidor a reconhecer a sua função intuitivamente (Figura 11).



Figura 11. Etiquetas To-Genkyo refletem a qualidade de produtos cárneos em função da concentração de amônia no espaço livre da embalagem.

A dificuldade de manutenção da temperatura em geladeiras convencionais desprovidas de termômetros abriu mercado para o desenvolvimento de **Indicadores de tempo de uso**, que visam evitar o desperdício de alimentos perecíveis alertando o consumidor sobre quanto tempo resta para o consumo antes do descarte ser necessário.

Com a finalidade de atender o varejista que vende produtos cárneos fatiados na hora a empresa Insignia Technologies desenvolveu a etiqueta Deli Intelligent Labels™ (Figura 12). Após abertura da embalagem a vácuo ou com atmosfera modificada, a etiqueta reage com o oxigênio do ar, que altera sua cor até que a tonalidade roxa seja atingida, indicando a perda de qualidade do alimento. A mudança de cor é mais rápida com a elevação da temperatura.



Figura 12. Etiqueta Deli Intelligent Labels™.

A presença de oxigênio em embalagens pode indicar possíveis violações ou falhas de selagem em embalagens com atmosfera modificada. Por isso foram desenvolvidos **indicadores de oxigênio**. Muitas aplicações de embalagens com atmosfera modificada visam restringir, mesmo que parcialmente, o contato do alimento com o oxigênio atmosférico. Caso haja falha na selagem ou no material de embalagem, o produto sofrerá deterioração antes do final do prazo de validade. A UPM comercializa a Shelf Life Guard (Figura 13), uma etiqueta indicadora de oxigênio para produtos em embalagem atmosfera modificada. A presença da atmosfera modificada sem oxigênio no interior da embalagem mantém a etiqueta incolor, mas eventuais vazamentos ou danos que permitam a entrada de oxigênio faz com que o centro da etiqueta fique azul, alertando o consumidor de uma provável perda de qualidade do alimento.



Figura 13. Etiqueta inteligente que indica presença de oxigênio em embalagens com atmosfera modificada.

A etiqueta Seal Check da Insignia Technologies é outro exemplo de indicador de oxigênio. A entrada deste gás na embalagem provoca o desaparecimento do círculo central amarelado (Figura 14).



Figura 14. A tinta utilizada na impressão por flexografia da etiqueta reage na presença de gases indesejáveis e muda de cor.

Quanto ao futuro de embalagens inteligentes é importante que: não gerem preocupações com segurança de alimentos, não afetem a funcionalidade do produto nem suas características organolépticas, não gerem impactos ambientais e atendam a requisitos legais. A implementação de vários sistemas poderá exigir esforços na educação, aceitação e confiança do consumidor e do varejista.

LITERATURA CONSULTADA

DAY, B. P. F. Active packaging of food. In: KERRY, J.; BUTLER, P. (Ed.). **Active packaging of food, in smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2008. Chapter 1, p. 1-18. doi: 10.1002/9780470753699.ch1

HOGAN, S. A.; KERRY, J. P. Smart packaging of meat and poultry products. In: KERRY, J.; BUTLER, P. (Ed.). **Active packaging of food, in smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2008. Chapter 3, p. 33-59. doi: 10.1002/9780470753699.ch3

KIM, Y.-T.; KIM, K.; HAN, J. H. AND KIMMEL, R. M. Antimicrobial active packaging for food. In: KERRY, J.; BUTLER, P. (Ed.). **Active packaging of food, in smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2008. Chapter 6, p.99-110. doi: 10.1002/9780470753699.ch6

LEE S. J.; JUNG, S. W. **Time-temperature indicator, method for manufacturing the time-temperature indicator, quality guarantee system using the time-temperature indicator, and quality guarantee method using the quality guarantee system**. International Patent Application WO 002552 A3, 2013.

SMOLANDER, M. Freshness indicators for food packaging. In: KERRY, J.; BUTLER, P. (Ed.). **Active packaging of food, in smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2008. Chapter 7, p. 111-127. doi: 10.1002/9780470753699.ch7

MOHEBI, E.; MARQUEZ, L. J. Intelligent packaging in meat industry: an overview of existing solutions. **Food Science and Technology**. v. 52, n. 7, p. 3947-64, Jul. 2015. doi: 10.1007/s13197-014-1588-z. Epub 2014 Oct 30.

PACQUIT, A.; CROWLEY, K.; DIAMOND, D. Smart packaging technologies for fish and seafood products. In: KERRY, J.; BUTLER, P. (Ed.). **Active packaging of food, in smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2008. Chapter 5, p. 75-98. doi: 10.1002/9780470753699.ch5

POÇAS, M. F. F.; DELGADO, T. F.; OLIVEIRA, F. A. R. Smart packaging technologies for fruits and vegetables. In: KERRY, J.; BUTLER, P. (Ed.). **Active packaging of food, in smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2008. Chapter 9, p. 109-149. doi: 10.1002/9780470753699.ch9

TAOUKIS, P. S. Application of time–temperature integrators for monitoring and management of perishable product quality in the cold chain. In: KERRY, J.; BUTLER, P. (Ed.). **Active packaging of food, in smart packaging technologies for fast moving consumer goods**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2008. Chapter 4, p. 61-74. doi: 10.1002/9780470753699.ch4

WANG, S.; LIU, X.; YANG, M.; ZHANG, Y.; XIANG, K.; TANG, R. Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging. **Packag. Technol. Sci.**, v. 28, n. 10, p. 839-867, 2015. doi:10.1002/pts.2148.