

NANOTECNOLOGIA EM ALIMENTOS: UMA BREVE REVISÃO

Nanotechnology in Food: A Brief Review

**Víctor de Carvalho Martins^{1*}; Elaine Cristina de Oliveira Braga²;
Ronoel Luiz de Oliveira Godoy³; Renata Galhardo Borguini³; Sidney Pacheco³;
Manuela Cristina Pessanha de Araujo Santiago³; Luzimar da Silva de Mattos do Nascimento³.**

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, CEP 23890-000, Seropédica – RJ, Brasil.

²Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Ciência dos Alimentos, CEP 22290-180, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

³Embrapa Agroindústria de Alimentos, Laboratório de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), CEP 23020-470, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

*victor.dcmartins@gmail.com

RESUMO

A nanotecnologia, parte da tecnologia responsável pela utilização de materiais em escala nanométrica, contribui para a obtenção de produtos com propriedades funcionais únicas. Devido a essas propriedades, vêm sendo empregada em diferentes formas e aplicações, entre as quais destacam-se principalmente as nanopartículas, que auxiliam no controle de liberação de fertilizantes e na agricultura de precisão e atuam como aditivos antiaglomerante, antimicrobiano e agente de revestimento em alimentos; as nanocápsulas, responsáveis pelo aumento de estabilidade, biodisponibilidade e controle da cinética de liberação de substâncias de interesse; e os nanocompósitos, materiais híbridos que apresentam pelo menos um nanomaterial em sua composição e que possuem grande aplicação na indústria de embalagens, devido ao aumento das propriedades de barreira. Atualmente, há uma grande tendência nos estudos para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis com propriedades adicionais como as embalagens ativas, que garantem uma maior estabilidade e proteção do alimento acondicionado, e as embalagens inteligentes, que conferem informações exclusivas sobre as condições do produto mediante a presença de indicadores ou sensores. Entretanto, para a garantia da consolidação da nanotecnologia no mercado mundial, faz-se necessário uma maior disponibilidade de informações sobre benefícios e riscos da aplicação em alimento, contribuindo para que o consumidor possa ter argumentos para adquirir ou rejeitar um produto que englobe esta tecnologia. Com este intuito, novos estudos envolvendo desenvolvimento de produtos e estudos toxicológicos são importantes para a definição das regulamentações em caráter internacional e a promoção do emprego da nanotecnologia.

Palavras-chave: nanocompósitos; embalagens; sistemas de liberação de nutrientes; consumidores.

ABSTRACT

Nanotechnology, part of the technology responsible for the use of nanoscale materials, contributes to obtaining products with unique functional properties. Due to these properties, it has been employed in various forms and applications, including mainly nanoparticles, which help in control of fertilizer release and precision agriculture and act as anti-caking additives, antimicrobial and coating agent for foods; nanocapsules, responsible for increased stability, bioavailability and control of kinetics release of interest substances; and nanocomposites, hybrid materials that exhibit at least one nanomaterial in their composition and have wide application in the packaging industry due to increased barrier properties. Currently, there is a great tendency in the studies for the development of biodegradable packaging with additional properties such as active packaging, which ensures greater stability and protection of packaged food, and smart packaging, that provide unique information on the conditions of the product through the presence of indicators or sensors. However, for nanotechnology consolidation in the world market, it is necessary a greater availability of information on benefits and risks of use in food, helping consumers to have arguments to acquire or reject a product that incorporates this technology. For this purpose, new studies involving product development and toxicological studies are important for defining the international regulations and the promotion of nanotechnology.

Keywords: nanocomposites; packages; nutrients delivery system; consumers.

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia refere-se a um campo da tecnologia responsável pela utilização de materiais em escala nanométrica para a obtenção de processos e produtos de melhor desempenho (ASSIS *et al.*, 2012; AZEREDO, 2012; HANDFORD *et al.*, 2015). Devido suas propriedades funcionais únicas, a nanotecnologia vêm sendo empregada em diferentes formas e aplicações que alavancaram o interesse de governos, indústrias e centros de pesquisa para o uso dessa tecnologia em diversos setores, tais como: eletrônicos, materiais, energia, cosméticos; medicamentos e têxtil (BOUWMEESTER *et al.*, 2009; GREINER, 2009).

Atualmente, os investimentos financeiros em pesquisas de caracterização, desenvolvimento de produtos e possíveis aplicações aumentaram significativamente nos últimos anos (GOMES *et al.*, 2015). Na indústria alimentícia, é possível observar a influência da nanotecnologia desde a produção agrícola, através do uso eficiente de fertilizantes e do tratamento de água, como no processamento dos alimentos em equipamentos e utensílios, tendo uma maior eficiência térmica e mecânica, na formulação de produtos, com o emprego de aditivos e sistemas de liberação controlada de substâncias bioativas e minerais, além de favorecer no desenvolvimento de embalagens com propriedades básicas aprimoradas e ainda adicionais, como as embalagens “ativas” e “inteligentes” (HANDFORD *et al.*, 2014).

Entretanto, essas aplicações ainda precisam ser bem assimiladas pelos consumidores, pois apesar do aumento crescente e contínuo de notícias e publicações que envolvem a nanotecnologia, principalmente nos países desenvolvidos, as informações disponíveis pouco contribuem para o esclarecimento da população sobre alguns aspectos importantes dessa nova tecnologia, como, por exemplo, a toxicidade dos nanomateriais (DUDO *et al.*, 2011; HANDFORD *et al.*, 2015).

Isto somente será possível a partir da divulgação de informações necessárias para a formação de um conhecimento básico que possibilitará ao consumidor decidir pela aceitação ou rejeição do produto final (SILVA *et al.*, 2012).

O presente trabalho tem como objetivo revisar os aspectos tecnocientíficos da nanotecnologia, mencionando principalmente as diferentes formulações e aplicações empregadas na indústria alimentícia e os futuros desafios que envolvem o uso desta tecnologia.

CONTEXTO HISTÓRICO E ECONÔMICO

A nanociência é uma área multidisciplinar com grande potencial de aplicação tecnológica, sendo a nanotecnologia considerada atualmente uma valiosa ferramenta para o aperfeiçoamento de processos e o desenvolvimento de novos produtos (AZEREDO, 2012; MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014).

Os estudos de nanociência e da nanotecnologia só tiveram início a partir dos anos 1950 pelo físico norte americano Richard Phillips Feynman. Em 1959, Feynman participou de um encontro promovido pela Sociedade Americana de Física, no Instituto de Tecnologia da Califórnia e, em uma de suas palestras, marcou a história da nanotecnologia ao afirmar que:

“... os princípios da física não falam contra a possibilidade de se manipular as coisas átomo por átomo...”

Até então, era impossível apresentar este pensamento, visto que não existia disponível uma técnica de visualização dos átomos, outro assunto abordado por Feynman. Ao longo dos anos seguintes, com a criação do Microscópio de Varredura por Tunelamento, a manipulação de átomos tornou-se possível (AZEREDO, 2012; GOMES, 2015).

Desde os anos 1980, a área de eletrônicos tem sido o carro-chefe da nanotecnologia na área de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), além de outros setores que apresentaram um significativo crescimento como o de biotecnologia, de materiais e de energia (GREINER, 2009). Atualmente, a nanotecnologia também é utilizada na medicina, cosméticos, indústria têxtil, agricultura e alimentos, e diversos produtos já incorporaram melhorias a partir da nanotecnologia como os protetores solares transparentes, as tintas livre de arranhões para carros, raquetes de tênis de maior rigidez, entre outros (BOUWMEESTER, 2009; GREINER, 2009).

A consciência do potencial desta tecnologia criou um ambiente de competição científica e tecnológica, movendo recursos humanos e financeiros em laboratórios e indústrias a nível mundial (GOMES, 2015). Segundo MIHINDUKULASURIYA & KIM (2014), estima-se um impacto de no mínimo 3 trilhões de dólares da economia global em 2020, criando uma demanda de 6 milhões de empregos em várias indústrias do mundo.

Como não poderia ser diferente, o setor de alimentos também tem se destacado nas pesquisas em nanotecnologia, visando principalmente garantir o abastecimento alimentar mediante ao aumento populacional observado e estimado para os próximos anos e as variações de caráter ambiental, tanto dos fatores climáticos quanto do uso sustentável dos recursos naturais. Diversas empresas de grande porte do setor alimentício, como a Heinz, a Kraft Foods e a Nestlé, tem apoiado estudos envolvendo o uso de nanotecnologia na produção de alimentos e bebidas (GREINER, 2009). HANDFORD *et al.* (2014) ressaltam que a nanotecnologia deve facilitar a próxima fase de desenvolvimento de culturas geneticamente modificadas, entrando na produção animal e de pescado, pesticidas químicos e técnicas de agricultura de precisão.

ASPECTOS TECNOLÓGICOS

O prefixo “nano”, originado do idioma grego, significa “anão” e, portanto, os materiais empregados tendem a apresentar pelo menos uma dimensão em nanoescala, entre 1 nm a 100 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Esta característica proporciona propriedades funcionais únicas, que não são encontradas nos materiais convencionais da escala macro, devido a maior superfície de contato das nanoestruturas (DUDO *et al.*, 2011; ASSIS *et al.*, 2012; CHELLARAM *et al.*, 2014; HANDFORD *et al.*, 2014; HANDFORD *et al.*, 2015).

Além disso, as técnicas empregadas na nanotecnologia permitem imitar a natureza tanto na montagem de moléculas (*bottom-up*) para formar novos compostos químicos ou nanoestruturas, quanto na desmontagem de produtos macro ou microscópicos (*top-down*) até o nível nanométrico, expandindo as possibilidades de aplicação (AZEREDO, 2012).

Os nanomateriais mais básicos utilizados são as nanopartículas. Estas podem se apresentar em diferentes formas, como nanopartículas esféricas (três dimensões nanométricas); nanotubos e nanofibras (estruturas alongadas com duas dimensões em escala nanométrica) e nanoplacas (apresentam apenas a espessura nanométrica) (AZEREDO, 2012; MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014). Diversos exemplos de nanopartículas são citados na literatura, como as nanoargilas, as nanopartículas de prata (Ag), as de dióxido de titânio (TiO_2) e as de óxido de zinco (ZnO).

As nanoargilas têm sido a classe de nanomateriais mais estudada, graças à sua alta disponibilidade, baixo custo, bom desempenho e boa processabilidade, sendo a mais empregada a montmorilonita (MMT), de fórmula química geral $\text{M}_x(\text{Al}_{4-x}\text{Mg}_x)\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$. Considera-se a MMT como um excelente material de reforço, devido à alta área superficial e alta razão de aspecto (razão entre a maior e a menor dimensão) apresentadas (AZEREDO, 2012).

Diferentes tipos de nanoformulações podem ser empregados, como as nanopartículas lipídicas sólidas, as nanoemulsões, as nanocápsulas e os nanocompósitos.

As nanopartículas lipídicas sólidas constituem-se de sistemas coloidais desenvolvidos com aumento do controle da cinética de liberação e da estabilidade química de componentes lipofílicos funcionais, como carotenoides e fitoesteróis. Sua obtenção ocorre através da homogeneização da fase lipídica no estado líquido e em uma solução de surfactante aquoso, em temperatura superior a de fusão dos lipídeos, possibilitando a formação de uma fina dispersão da emulsão óleo em água. A diferença entre as nanopartículas lipídicas e as nanoemulsões está justamente no estado físico do núcleo lipídico, em que, nas nanoemulsões, o núcleo encontra-se no estado líquido. Os principais lipídeos utilizados são triglicerídeos (triestearina), glicídeos parciais (monoestearato de gliceril), ácidos graxos (ácido esteárico), esteróis (colesterol) e ceras (cetilpalmitato) (ASSIS *et al.*, 2012).

Já as nanoemulsões são dispersões muito finas compostas por uma fase aquosa e uma fase lipídica, que se apresentam como gotas com diâmetro menor que 100 nm. Técnicas de homogeneização à alta pressão e geradores de ultrassom são empregadas para a obtenção das nanoemulsões, a partir de triglicerídeos e água, sendo a nanoemulsão do tipo óleo em água mais comum. Uma das principais características desta nanoformulação é a estabilidade contra sedimentação (ASSIS *et al.*, 2012).

As nanoencapsulações surgiram como uma extensão da tecnologia de microencapsulação, empregada já há muitos anos pela indústria alimentícia (GREINER, 2009). Estas são formadas por um invólucro polimérico disposto ao redor de um núcleo, onde as substâncias de interesse (componentes responsáveis por sabor ou substâncias bioativas) podem se localizar na parte interna ou ainda adsorvidas à parede polimérica através de pequenas vesículas nanométricas.

A matriz polimérica na indústria alimentícia geralmente é feita a partir de polímeros biodegradáveis, podendo ser de misturas de amidos, gomas, gelatinas e proteínas, como albuminas e colágeno (BOUWMEESTER *et al.*, 2009; ASSIS *et al.*, 2012).

É importante ressaltar que as nanocápsulas comportam-se como um sistema de incorporação de substâncias favorecendo a proteção contra degradação e melhoria da estabilidade e solubilidade e já são usualmente empregadas na indústria farmacêutica, porém com polímeros sintéticos (BOUWMEESTER *et al.*, 2009).

Desde a década de 1990, aproximadamente 45 trabalhos científicos focados nos estudos de caracterização e aplicação de nanocompósitos, materiais híbridos em que pelo menos um de seus componentes tem dimensões nanométricas, conforme relatam MIHINDUKULASURIYA & KIM (2014). A adição de nanopartículas aos polímeros contribui para o beneficiamento do produto final, com destaque para o aumento da resistência mecânica, da estabilidade térmica, da condutividade elétrica, entre outros. Isto ocorre devido à elevada área superficial, resultando em uma intensa interação entre a matriz e as nanopartículas (ASSIS *et al.*, 2012; MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014).

A Figura 1 destaca a possibilidade do emprego de nanocompósitos em embalagens. Os polímeros naturais apresentam propriedades de barreira e mecânica bem limitadas, mas a incorporação de nanopartículas em concentrações inferiores a 5% (m/m) confere um aumento da propriedade de barreira, não apresentando variação na densidade, transparência e características de processamento da embalagem (GREINER, 2009). Atualmente, as nanoargilas são as nanopartículas mais usadas na área de embalagem de alimentos, respondendo por cerca de 70% do mercado (AZEREDO, 2012).

A forma de distribuição espacial das nanoesferas também influencia nas propriedades do nanocompósito, sendo considerada a forma esfoliada a que apresenta melhores propriedades, por causa da ótima interação nanopartícula/polímero e melhor dispersão da nanopartícula (AZEREDO, 2012).

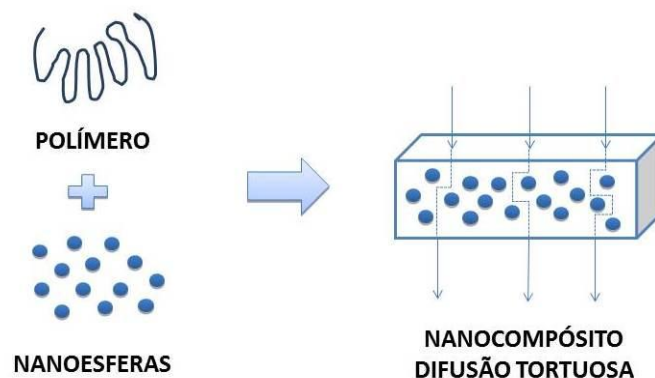


Figura 1. Esquema de obtenção de um nanocompósito com aumento da propriedade de barreira, adaptado de MIHINDUKULASURIYA & KIM (2014).

Uma variação dos nanocompósitos consiste nos nanosensores, nanopartículas reativas adicionadas às embalagens ou ainda ao próprio alimento, capazes de indicar informações a respeito da qualidade e procedência do produto (BOUWMEESTER *et al.*, 2009; GREINER, 2009).

APLICAÇÕES AGROINDUSTRIAIS

O uso da nanotecnologia na área de alimentos é cada vez mais evidente. Uma variedade de ingredientes alimentares, sistemas de encapsulamento e materiais de contato com alimentos como embalagens e utensílios já está disponível em alguns países (GREINER, 2009).

O advento da nanotecnologia pode ainda acarretar em melhorias na produção e nas técnicas de processamento; avanços no desenvolvimento de materiais para embalagens, aumentando a vida de prateleira; modificações de sabor, textura e sensação; monitoramento da qualidade e do frescor do alimento; redução de teor de gordura; absorção de nutrientes aprimorada; melhoria da rastreabilidade e segurança dos produtos alimentares (GREINER, 2009; DASGUPTA et al., 2015; HANDFORD et al., 2014; HANDFORD et al., 2015). A Figura 2 relaciona as principais possibilidades de uso da nanotecnologia no setor agroindustrial, influenciando desde a produção agrícola até a relação com os consumidores.

Nanotecnologia na Indústria Alimentícia	Agropecuária:
	Novos pesticidas, sensores inteligentes, fortificação de alimentação animal.
	Processamento de Alimentos:
	Nanoencapsulação de aromas/sabores, novos agentes gelificantes e espessantes, processos de sanitização de equipamentos eficientes.
	Nutrição
	Sistema de liberação de nutrientes, fortificação com vitaminas e minerais, desenvolvimento de nutracêuticos.
	Segurança dos Alimentos
	Diagnóstico de contaminantes, como micotoxinas, substâncias alergênicas.
	Embalagens
	Desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes.

Figura 2. Possibilidades de emprego da nanotecnologia no setor agroindustrial, adaptado de HANDFORD et al., (2014).

PRODUÇÃO AGRÍCOLA

DASGUPTA *et al.*, (2015) relataram as principais aplicações da nanotecnologia no setor agrícola, destacando a utilização eficiente de fertilizantes e dos recursos necessários para o crescimento ideal das espécies vegetais até os fatores externos que podem acarretar em prejuízos dos cultivares seguintes, como a contaminação de solos.

Transportadores nanométricos podem ser utilizados para o uso racional e eficiente de fertilizantes, pesticidas, herbicidas, reguladores de crescimento de plantas, entre outros (BOUWMEESTER *et al.*, 2009; DASGUPTA *et al.*, 2015). O encapsulamento e a liberação controlada destas substâncias contribui para uma agricultura de precisão, evitando o uso exacerbado de produtos químicos pelos agricultores e aliviando os problemas ambientais.

CAI *et al.*, (2014) adicionaram nanoargilas aos fertilizantes tradicionais para retenção de nitrogênio e prevenção da lixiviação e obtiveram uma nutrição suficiente para os cultivos. Além disso, foi observado em outro trabalho científico que nanopartículas de dióxido de silício (SiO_2) aprimoraram a germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum*) (MANZER & MOHAMED, 2014).

Outro fator crucial nas produções agrícolas é a qualidade da água utilizada. Novas técnicas utilizando nanotecnologia têm apresentado aplicações eficientes no controle de qualidade da água. As nanopartículas de prata (Ag) (Figura 3) se mostraram promissoras para a desinfecção das águas, devido à produção de espécies reativas de oxigênio que clivam o DNA de bactérias e vírus e que, por tal propriedade, acarretam uma vasta gama de possíveis aplicações (GREINER, 2009; DASGUPTA *et al.*, 2015).

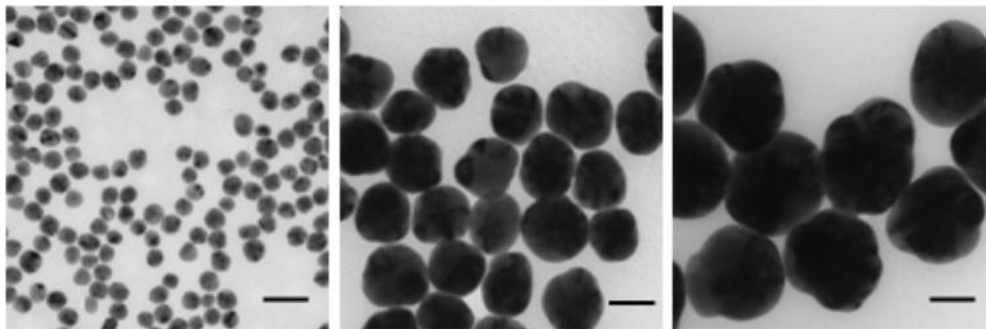


Figura 3. Imagens de nanopartículas de prata, por microscopia de transmissão eletrônica, de diâmetro de 20 nm, 60 nm e 100 nm (SIGMA-ALDRICH, 2015).

É possível, através de reações catalíticas com determinadas substâncias na presença de luz, a ruptura das células microbianas e conseqüentemente a eliminação destas da água. Nanopartículas de óxidos e sulfetos de metais, com ação oxidante, auxiliam tanto na remoção dos contaminantes microbianos quanto orgânicos; com destaque para dióxido de titânio (TiO_2), monóxido de zinco (ZnO), dióxido de estanho (SnO_2), sulfeto de zinco (ZnS), sulfeto de cádmio (CdS), entre outros (DASGUPTA *et al.*, 2015). Ankita & Vidya (2014) utilizaram nanopartículas de Ag e TiO_2 combinadas para remediar o corante *Reactive Blue 220*, induzindo a degradação fotocatalítica com auxílio da luz solar.

Diferentes substâncias são eliminadas da água utilizada para a produção agroindustrial pelo uso de processos nanotecnológicos. Pode ser empregada a nanobiorremediação, para a degradação ou conversão de compostos orgânicos em produtos não tóxicos, sendo utilizado principalmente nanopartículas de ferro (Fe), nanotubos de carbono e nanopartículas de enzimas; a nanofiltração por membranas modificadas para dessalinização da água, processo 1000 vezes mais eficiente que a osmose reversa, atualmente de maior emprego; e, para a remoção de metais pesados, a utilização de óxidos de metais na forma de nanocápsulas como dióxido de manganês (MnO_2), dióxido de titânio (TiO_2), óxido férrico (Fe_2O_3), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de magnésio (MgO) e dióxido de cério (CeO_2), que apresentam alta área superficial e afinidade específica para a possível adsorção destes contaminantes em sistemas aquáticos (DASGUPTA *et al.*, 2015).

UTENSÍLIOS E EQUIPAMENTOS PARA PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS

Diversos materiais que entram em contato com o alimento tiveram mudanças significativas após o desenvolvimento da nanotecnologia, como as propriedades antimicrobianas de superfícies, resistência às ranhuras e corrosão e características antireflexivas. Exemplos incluem as nanopartículas de prata presentes em refrigeradores domésticos, as nanocerâmicas utilizadas em fritadeiras, nanocompostos inorgânicos de coloração preta para revestimento de placas de alumínio e frigideiras que melhoram as propriedades de condução térmica dos utensílios domésticos, reduzindo o tempo de cozimento. Os nanofiltros, além da dessalinização da água, também podem ser aplicados diretamente em processos alimentícios para a obtenção de produtos lácteos sem lactose e cafés descafeinados e ainda remoção de toxinas (BOUWMEESTER *et al.*, 2009; GREINER, 2009; HANDFORD *et al.*, 2014).

ADITIVOS ALIMENTÍCIOS

A utilização de certos nanomateriais como aditivos alimentares também tem sido objetivo de estudo e de patentes para ganho de sabor, cor, propriedades reológicas, estabilidade durante processamento e aumento da vida de prateleira dos produtos alimentícios (HANDFORD *et al.*, 2014). Nanopartículas de SiO₂, TiO₂ e Ag são empregadas, respectivamente, como agente antiaglomerante, agente de revestimento e agente antimicrobiano. Uma das principais utilizações envolve as nanopartículas de TiO₂ em chocolates, queijos, iogurtes, refrigerantes, molhos de saladas, entre outros. Corantes alimentícios também podem ser aplicados na escala nanométrica, como, por exemplo, licopeno sintético em pó com granulometria de 100 nm para adição em refrigerantes e outros produtos alimentares (GREINER, 2009; HANDFORD *et al.*, 2014).

SISTEMA DE LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES

Um dos maiores focos da nanotecnologia em alimentos são os sistemas de encapsulamento e liberação controlada de nutrientes. Estes ocorrem geralmente por transportadores nanométricos, que aumentam a absorção e a biodisponibilidade de substâncias bioativas e minerais no organismo humano. As nanocápsulas tendem a proteger os nutrientes, aumentando a estabilidade destes frente à umidade, ao oxigênio e as condições gástricas, carregando-os através do estômago até o intestino delgado, sem perda significativa das substâncias (BOUWMEESTER *et al.*, 2009; GREINER, 2009; ASSIS *et al.*, 2012).

Diferentes parâmetros tendem a exercer influência na cinética de transporte de uma nanocápsula. O aumento de temperatura é responsável pela liberação de substâncias de interesse, por exemplo, na adição de água quente para preparo de bebidas quentes e sopas. A estabilidade em pH ácido e a liberação de seu conteúdo mediante aumento do valor de pH consiste em uma forma de administração controlada de substâncias para diferentes regiões do trato gastrointestinal (GREINER, 2009).

Uma gama de produtos baseados nessa técnica já está disponível no mercado para consumo direto ou indireto. ASSIS *et al.*, (2012) mencionam como produtos comerciais as nanocápsulas de óleo de peixe (rico em ácido graxo ômega-3), de β -caroteno e de óleo de colza (carotenoides e vitamina E). HANDFORD *et al.*, (2014) relatam a nanoencapsulação de microrganismos probióticos para incorporação em alimentos e bebidas, como leites fermentados, iogurtes, queijos, entre outros. O benefício do consumo desses alimentos está atrelado ao aumento da microflora intestinal e à consequente promoção da saúde gastrointestinal.

A empresa alemã Aquanova® desenvolveu um sistema de transporte baseado em nanomicelas conhecido como NovaSOL®, que já foi aplicado para introduzir ácido benzoico, ácido cítrico, ácido ascórbico, vitamina A e E, β -caroteno, luteína e ácido ômega-3 em alimentos e bebidas. Outro sistema é o NanoCluster™, usado em uma bebida em pó de chocolate, chamado de Slim shake de chocolate, que afirma ser suficientemente doce sem açúcar ou adoçantes, incorporando cacau em nanopartículas (GREINER, 2009).

As características sensoriais também podem ser modificadas através destes sistemas de liberação. É possível, através da nanoencapsulação, reduzir a degradação de substâncias voláteis durante processamento e armazenamento, garantindo a qualidade e aumentando a vida de prateleira do produto; mascarar sabores e odores indesejados, prevenindo a interação entre as substâncias bioativas e os receptores de sabor na superfície da mucosa oral; ou ainda garantir a dissolução das nanocápsulas no contato com a água ou a saliva, providenciando um alto impacto de sabor do produto (GREINER, 2009).

A Figura 4 resume as duas principais aplicações das nanoencapsulações, visando à qualidade do produto final.

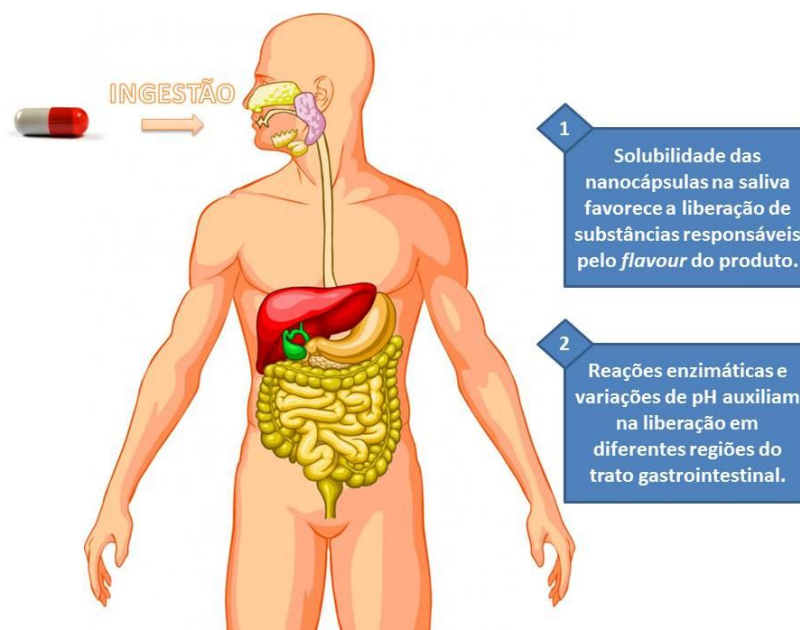


Figura 4. Ingestão de nanocápsulas e principais eventos relacionados à absorção de nutrientes.
Fonte: Arquivo Pessoal.

NOVAS FUNCIONALIDADES DAS EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS

Representando a terceira maior indústria do mundo, com 2% do Produto Interno Bruto (PIB) dos países desenvolvidos, as embalagens possuem importantes funções nos diversos setores da economia, prova disso é a utilização dos níveis de produção de embalagens serem utilizado como um indicador econômico. Na indústria de alimentos, sua importância não é diferente (MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014). Segundo Azeredo (2012), a função de maior destaque é a proteção, onde as propriedades de barreira contra fatores externos favorecerão o transporte e a estocagem do produto final. Estes fatores compreendem desde a umidade, o oxigênio (O₂) e o dióxido de carbono (CO₂) presentes no ar atmosférico, até microrganismos, partículas sólidas em suspensão no ar, choques mecânicos e vibrações. Outras funções das embalagens incluem a contenção de determinada quantidade do produto, favorecendo as etapas de comercialização e utilização pelo consumidor; a transmissão de informações úteis sobre o produto, o que pode conferir atração e identificação pelo consumidor; e a conveniência, garantindo facilidade e maior aproveitamento para o consumo (GREINER, 2009; AZEREDO, 2012; MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014).

Embalagens à base de vidro ou metal apresentam ótimas propriedades de barreira, porém as embalagens plásticas são as mais empregadas atualmente devido à sua baixa massa, a formabilidade e versatilidade e os baixos custos de produção (MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014). Este tipo de embalagem possui intensa interação com o ambiente, facilitando a ocorrência dos fenômenos já citados e afetando a segurança e qualidade do produto final. Uma forma de aperfeiçoamento para a utilização destas embalagens é o emprego de nanocompósitos (BOUWMEESTER *et al.*, 2009; HANDFORD *et al.*, 2014; DASGUPTA *et al.*, 2015).

Os primeiros nanocompósitos poliméricos incorporaram nanopartículas de argila em sua composição e apresentaram excelentes propriedades térmicas e mecânicas, estabilidade à umidade e maior durabilidade. As aplicações deste tipo de embalagem ocorrem em alimentos de origem animal, como carnes processadas, queijos e produtos lácteos, e cereais e doces (GREINER, 2009; ASSIS *et al.*, 2012).

Greiner (2009) cita ainda duas embalagens diferentes em seu trabalho de revisão. A primeira, desenvolvida pela empresa alemã Bayer AG, é um filme composto de poliamida com copolímero de polietileno vinil álcool (EVOH) com nanoargila. A Durethan® KU 2-2601 apresentava uma permeação de gás e umidade mais reduzida, além de reforço no brilho e rigidez. A segunda, Imperm®, desenvolvido por Nanocor® Inc. (EUA), foi indicada para utilização em camadas múltiplas nas garrafas de politereftalato de etileno (PET), minimizando a perda de CO₂ em bebidas e aumentando o frescor e o prazo de validade. Estas ainda apresentavam maior leveza e resistência mecânica que as de vidro.

MOURA *et al.*, (2012) realizaram um experimento com filmes nanocompósitos de prata em diferentes tamanhos nanométricos com hidroxipropilmetilcelulose e comprovou que os de menor tamanho apresentavam maior proteção contra vapores de água, microrganismos como *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, e boas propriedades mecânicas. Este trabalho ainda sinaliza para uma das novas tendências, o uso de polímeros biodegradáveis como os derivados de celulose.

Outras duas tendências no setor de embalagens envolvem o desenvolvimento de embalagens funcionais, ou seja, que apresentam propriedades adicionais em relação às embalagens tradicionais. Estas duas inovações estão atreladas as funções de proteção e informação das embalagens.

EMBALAGENS ATIVAS

As embalagens “ativas” compreendem um grupo de nanocompósitos que prolongam o tempo de vida e garantem as propriedades sensoriais e a segurança do alimento. O mecanismo de atuação compreende a interação com o produto acondicionado, absorvendo compostos indesejáveis e/ou liberando substâncias que favorecem o aumento da estabilidade (AZEREDO, 2012; MOURA *et al.*, 2012).

Filmes antimicrobianos, absorvedores de O₂ ou de etileno, reguladores de umidade e liberadores e/ou absorvedores de sabores e odores são alguns exemplos de embalagens ativas (AZEREDO, 2012). A Figura 5 esquematiza o acréscimo de proteção a partir do uso de embalagens ativas.

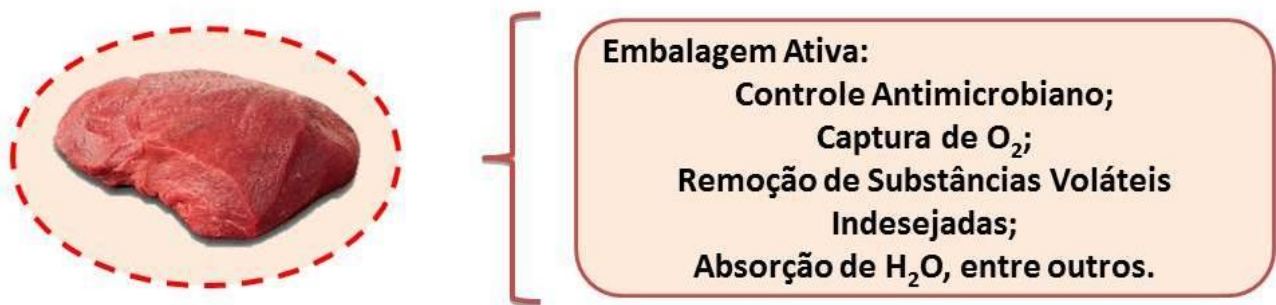


Figura 5. Esquema de atuação das embalagens ativas, adaptado de MIHINDUKULASURIYA & KIM (2014).

ASSIS *et al.*, (2012) citam o uso de substâncias bioativas encapsuladas na própria embalagem como uma abordagem promissora, garantindo ainda uma liberação controlada e uma maior estabilidade desses compostos. Nanopartículas de metais ou seus óxidos atuam também em embalagens ativas. Como já mencionado anteriormente, as nanopartículas de prata têm potencial antimicrobiano, sendo efetivos contra bactérias gram-positivas e gram-negativas (MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014).

MOURA *et al.*, (2012) e DAMM *et al.*, (2008) também indicaram que filmes contendo 0,06% (m/m) de nanopartículas de prata eliminaram 100% das bactérias *E. coli* presentes, enquanto que 1,9 % (m/m) de micropartículas eliminaram apenas 80%. Resultados similares foram obtidos com nanopartículas de TiO₂ com *E. coli*; nanopartículas de Ag e de argila com salada de frutas frescas; e nanopartículas de ácidos benzoico e sórbico adicionados a quitosana em carnes (MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014).

As nanopartículas de MgO₂ e ZnO também apresentam alta eficiência na destruição de microrganismos e, por serem mais baratas que as de prata, são mais utilizadas. Enquanto as nanopartículas de SiO₂ e TiO₂ podem ser incorporadas para desenvolver uma embalagem ativa absorvente de O₂ e, por conseguinte, evitar a deterioração dos alimentos (GREINER, 2009; DAGUPTA *et al.*, 2015).

EMBALAGENS INTELIGENTES

Diferentemente das embalagens ativas, as embalagens “inteligentes” não apresentam relação com a garantia de qualidade, mas com a informação das condições do alimento. Essas informações são visualizadas pela resposta da interação do alimento com indicadores ou sensores através de reações químicas. Esta resposta pode ser uma alteração de cor ou um sinal elétrico.

É possível comunicar o histórico de tempo/temperatura, o teor de O₂ e CO₂, a presença de toxinas ou patógenos específicos, a detecção de vazamentos, entre outras informações (GREINER, 2009; VEIGA-SANTOS et al., 2011; AZEREDO, 2012). A Figura 6 ilustra a atuação das embalagens inteligentes.



Figura 6. Esquema de atuação das embalagens inteligentes, adaptado de MIHINDUKULASURIYA & KIM (2014).

Os indicadores são substâncias que irão reagir quimicamente com o alimento e indicar a informação desejada visualmente (AZEREDO, 2012). Contrariando os indicadores, os sensores são pequenos dispositivos combinados a um componente biológico que interage com o substrato alvo, através de reações químicas e biológicas, e a um transdutor de sinais; este converte os processos de biorreconhecimento em sinais amplificados e mensuráveis. O transdutor age como uma interface, transformando a energia da reação em massa, carga, calor ou luz. Esse sinal é captado por um detector que filtra, amplifica e transfere para um dispositivo de coleta das informações (GOMES *et al.*, 2015).

Um exemplo do uso de indicadores é a utilização de nanopartículas de TiO₂ como variante do indicador de oxigênio. Para tal fim, são necessários ainda a presença de um corante com propriedades de redução e oxidação (redox) e um fonte doadora de elétrons. Todos estes componentes são encapsulados em um transportador polimérico e a detecção ocorre por um mecanismo em cadeia, exemplificado na Figura 7.

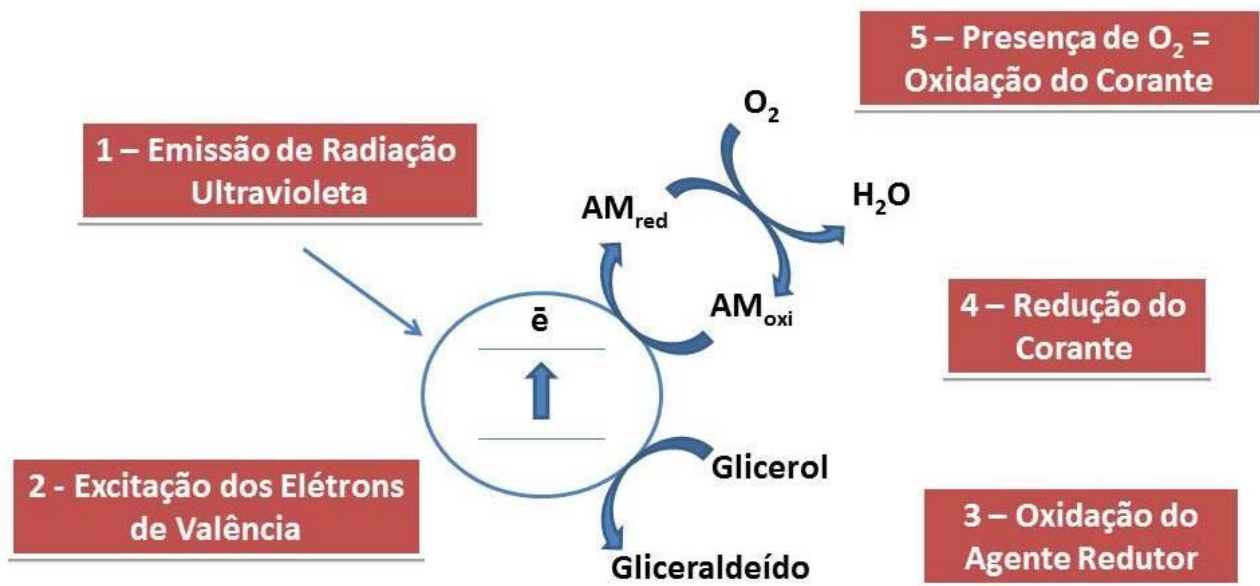


Figura 7. Mecanismo de alteração de cor em função da concentração de O_2 no meio (MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014).

Inicialmente, ocorre a excitação dos elétrons de valência do indicador para uma banda de condução, pela ação da radiação ultravioleta (1 e 2). A fonte doadora de elétrons, neste caso o glicerol, doa elétrons para a banda de valência do indicador, favorecendo com que os elétrons excitados participem de uma reação redox com o corante (3). A etapa de redução do corante, por exemplo azul de metileno (AM), garante uma coloração incolor ao mesmo (4). A medida que o meio aumenta a concentração de O_2 , o corante tende a ser oxidado novamente (5), apresentando uma coloração azul cada vez mais intensa (MIHINDUKULASURIYA & KIM, 2014).

Veiga-Santos e colaboradores (2011) desenvolveram filmes biodegradáveis a partir de amido de mandioca, abundante e de baixo custo, com adição de extratos de uva e espinafre como indicadores de pH. Os resultados do trabalho indicaram que houve influência nas propriedades mecânicas e de barreira contra umidade do filme pela adição destes extratos, sendo os filmes com extrato de uva aqueles com maior variação de coloração em diferentes pH's e, portanto, maior efetividade como indicador de degradação de alimentos.

Assim como os indicadores, a tecnologia de nanossensores é uma ferramenta valiosíssima para a obtenção de informações sobre contaminantes microbianos ou ainda substâncias alergênicas, devido à alta especificidade e confiabilidade. Pilolli e colaboradores (2013) ressaltam a importância do uso de biossensores para o controle da presença de alergênicos em alimentos, o que seria uma estratégia para solucionar este problema de saúde pública que vem ganhando cada vez mais destaque, devido à necessidade do consumidor evitar totalmente alimentos contendo certos alergênicos em qualquer quantidade.

Outra possível aplicação dos nanossensores é o rastreamento geográfico, o que permitiria o consumidor ter a informação da procedência do alimento. Segundo Greiner (2009), este tipo de serviço age como a tecnologia de códigos de barra eletrônicos, porém as etiquetas de Identificação por Radio Frequência (Radio Frequency Identification – RFID) não precisam de uma linha de visão para leitura, podendo ser obtido diversas informações. O autor ainda cita que empresas do varejo, como a Walmart (EUA), grupo Metro (Alemanha) e Tesco (Reino Unido), já testaram esta tecnologia até o ano de 2006.

RELAÇÃO COM O CONSUMIDOR

A nanotecnologia passa por um momento crucial para consolidação no mercado industrial. Como já foram vistos, diversas aplicações são possíveis a partir da nanotecnologia e, segundo uma edição do jornal popular JORNAL DO BRASIL (2015), existem atualmente cerca de 100 micro e pequenas empresas no Brasil atuando no desenvolvimento de produtos e novos materiais. Para isso, faz-se necessário romper a resistência ainda existente por parte dos consumidores.

Um artigo científico elaborado por SILVA *et al.*, (2012) enfatiza os impactos sociais da nanotecnologia. Existe uma preocupação natural por parte dos consumidores, principalmente no uso como ingredientes alimentares; uma promoção da nanotecnologia, tendo como ênfase o reforço da imagem positiva e do poder transformador; e uma intensa batalha entre os difusores tecnológicos, os “nanotradutores”, e os opositores da tecnologia, os “nanodescontrutivistas”. Eles citam ainda que os nanoalimentos estarão focados fortemente no apelo à saúde e à segurança alimentar e julgam esse apelo como um paradoxo devido ao vácuo de conhecimento sobre aspectos da nanotecnologia, como os seus efeitos toxicológicos.

É necessário, portanto, um aumento da disponibilização de informações para a população em geral, favorecendo com que as pessoas tenham condições de julgar o uso ou a rejeição da nanotecnologia em alimentos. DUDO *et al.*, (2010) investigaram a evolução de notícias apresentadas em 21 jornais diários de diferentes regiões dos Estados Unidos. Segundo o artigo, houve um aumento crescente das matérias jornalísticas sobre o tema “nanotecnologia em alimentos” desde 1996 até o ano de 2006, alcançando mais de 40 notícias sobre nanotecnologia e tendo como foco principalmente a qualidade e a segurança dos alimentos e os benefícios em detrimento dos riscos. O mesmo aumento de publicações também foi observado por HANDFORD *et al.*, (2014) na base de dados Scopus, com mais de 200 artigos em alimentos em 2013, porém com baixa representatividade (em torno de 2% do total de publicações sobre nanotecnologia).

HANDFORD *et al.*, (2015) divulgaram ainda uma pesquisa com profissionais da área de alimentos da Irlanda do Norte e da Irlanda, onde 82% dos entrevistados ouviram falar da nanotecnologia, porém apenas 3% disseram conhecer muito sobre o tema. Houve a correlação do tema com diversas possibilidades de aplicação, como embalagens, liberação de nutrientes, segurança alimentar, equipamentos de processamento, entre outros, porém 88% afirmaram não usar a nanotecnologia atualmente e 23% afirmaram que a nanotecnologia não teria uso em suas produções (Figuras 8 e 9). Quanto aos benefícios e riscos, foi observado que a falta de informações bem definidas levou a uma divisão de opiniões e de uma alta taxa de profissionais sem saber responder ao questionamento (Figura 10).

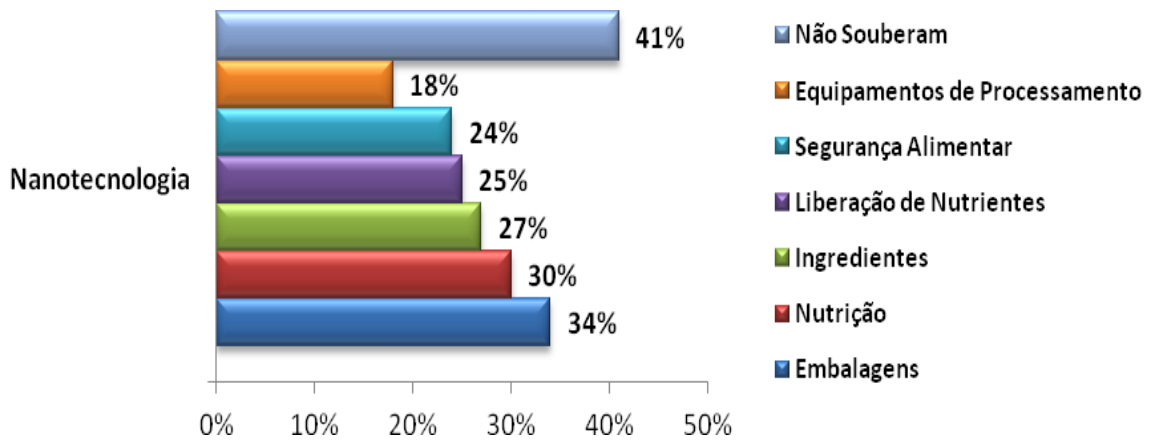


Figura 8. Respostas sobre possíveis aplicações da nanotecnologia (HANDFORD *et al.*, 2015).

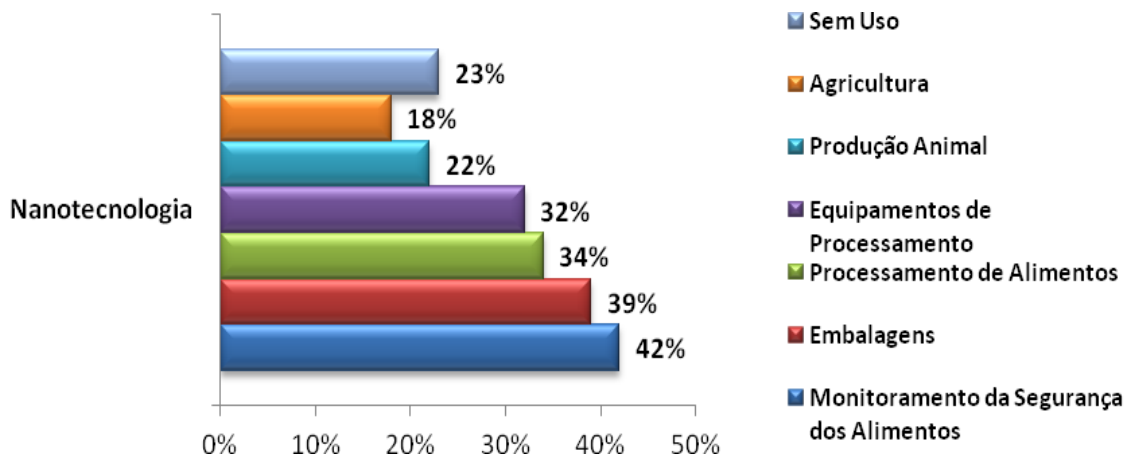


Figura 9. Respostas sobre oportunidades para nanotecnologia (HANDFORD *et al.*, 2015).

Peso de Benefícios e Riscos do Uso da Nanotecnologia

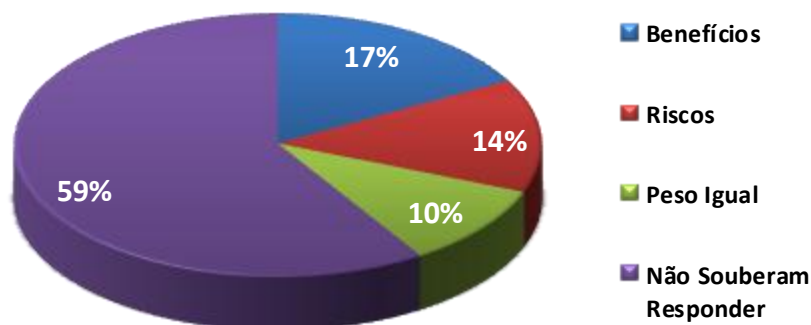


Figura 10. Disparidade na opinião sobre benefícios e riscos do uso da nanotecnologia (HANDFORD *et al.*, 2015).

Outro artigo, escrito por ENGELMANN *et al.*, (2013), enfatiza a ausência e a necessidade de um marco regulatório, delimitando a elevada projeção em âmbito industrial e comercial da nanotecnologia devido aos seus altos rendimentos. Também é destacado o momento desafiador para os profissionais da área de Direito, visto que há a necessidade do conhecimento multidisciplinar da gestão dos riscos nanotecnológicos. Um grande avanço alcançado pelo Brasil foi relatado pelo PORTAL BRASIL (2015): a adesão do Brasil ao NanoReg, um projeto de regulamentação internacional da nanotecnologia, envolvendo 64 instituições e 16 países europeus, além de Austrália, Canadá, Coreia do Sul, Estados Unidos e Japão.

PERSPECTIVAS

A consolidação da nanotecnologia como uma ferramenta para a garantia de novos produtos com maior segurança e qualidade alimentar dependerá do investimento contínuo em pesquisas. Estudos de viabilidade econômica, aceitação do consumidor e toxicidade de nanomateriais e produtos baseados em nanotecnologia englobam a tendência para os próximos anos (AZEREDO, 2012).

Entre os estudos citados, os aspectos toxicológicos se destacam devido à série de possíveis fatores que podem implicar na liberação ou proibição do uso de um nanomaterial. É importante ressaltar que para cada tipo de alimento contendo nanomateriais uma indicação de probabilidade de exposição do consumidor é dada, o que confere um destaque para a relação nanopartícula-matriz (BOUWMEESTER, 2009). Segundo AZEREDO (2012), as nanopartículas podem induzir danos celulares, inflamações pulmonares e doenças vasculares.

Portanto, estudos que envolvam a neurotoxicidade, reprotoxicidade, mutagênese e alergenicidade são de extrema importância na atual fase da nanotecnologia, assim como o desenvolvimento de métodos analíticos para detecção e caracterização de nanopartículas em matrizes alimentares (BOUWMEESTER, 2009). Todos esses dados influenciarão a construção dos regulamentos anteriormente já destacados neste trabalho e que garantirão a proteção dos consumidores à exposição involuntária aos riscos.

Outra perspectiva futura é o desenvolvimento de novas aplicações para os nanomateriais. Foram encontrados alguns projetos sobre nanotecnologia desenvolvidos pela Embrapa, entre eles: a degradação de pesticidas em águas (PORTAL EMBRAPA, 2015a); a fabricação a laser de sensores químicos do tipo língua eletrônica (PORTAL EMBRAPA, 2015b); e a nanotecnologia aplicada ao agronegócio (PORTAL EMBRAPA, 2015c). O número de projetos tende a aumentar nos mais diversos centros de pesquisa do país e do mundo.

CONCLUSÕES

O potencial atual e futuro da nanotecnologia são indiscutíveis. Diversas melhorias foram alcançadas e comprovadas através do seu uso e outros grandes avanços ainda serão conquistados. A caracterização e a formulação de novos produtos para aplicações distintas a partir de nanopartículas de argila, de prata e de dióxido de titânio, por exemplo, ainda devem garantir nos próximos anos inúmeras conquistas. Porém, a busca de novos nanomateriais não pode ser descartada bem como o emprego de diferentes polímeros biodegradáveis, como os resíduos agroindustriais, para a obtenção de nanocompósitos.

Portanto, é importante destacar que o uso da nanotecnologia pode também minimizar os prejuízos ambientais provocados pelo ser humano ao longo dos últimos séculos, ampliando técnicas mais sustentáveis para cultivo, processamento e obtenção de alimentos. Sem dúvidas, a nanotecnologia pode contribuir para o desenvolvimento das futuras gerações, sendo necessários maiores esforços para a definição dos aspectos toxicológicos dos nanomateriais e das regulamentações de caráter internacional.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANKITA, K.; VIDYA, K. S. Solar light induced photocatalytic degradation of Reactive Blue 220 (RB-220) dye with highly efficient Ag@TiO₂ core-shell nanoparticles: A comparison with UV photocatalysis. **Solar Energy**, v.99, p.67-76, 2014.
- ASSIS, L. M.; ZAVAREZE, E. R.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; SOUZA-SOARES, L. A. Características de Nanopartículas e Potenciais Aplicações em Alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.15, n.2, p.99-109, abr-jun 2012.
- AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de Estabilidade de Alimentos**. 2 ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa. 2012. 326 p.
- BOUWMEESTER, H.; DEKKERS, S.; NOORDAM, M. Y.; HAGENS, W. I.; BULDER, A. S.; DE HEER, C.; TEN VOORDE, S. E. C. G.; WIJNHOFEN, S. W. P.; MARVIN, H. J. P.; SIPS, A. J. A. M. Review of Health Safety Aspects of Nanotechnology in Food Production. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v.53, p.52-62, 2009.
- CAI, D.; WU, Z.; JIANG, J.; WU, Y.; FENG, H.; BROWN, I.G.; et al. Controlling nitrogen migration through micro-nano networks. **Scientific Reports**, v.14: 3665, p. 1-8, 2014.
- CHELLARAM, C.; MURUGABOOPATHI, G.; JOHN, A.A.; SIVAKUMAR, R.; GANESAN, S.; KRITHIKA, S.; PRIYA, G. Significance of Nanotechnology in Food Industry. **APCBEE Procedia**, v.8, p.109-113, 2014.
- DAMM, C.; MUNSTEDT, H.; ROSCH, A. The antimicrobial efficacy of polyamide 6/silver-nano and microcomposites. **Materials Chemistry and Physics**, v.108, p.61-66, 2008.
- DASGUPTA, N.; RANJAN, S.; MUNDEKKAD, D.; RAMALINGAM, C.; SHANKER, R.; KUMAR, A. Nanotechnology in Agro-food: From Field to Plate. **Food Research International**, v.69, p.381-400, 2015.
- DUDO, A.; CHOI, D.; SCHEUFELE, D. A. Food Nanotechnology in the News. Coverage Patterns and Thematic Emphases during the Last Decade. **Appetite**, v.56, p.78-89, 2011.
- ENGELMANN, W.; ALDROVANDI, A.; FILHO, A. G. B. Perspectivas para Regulação das Nanotecnologias Aplicadas a Alimentos e Biocombustíveis. **Vigilância Sanitária em Debate**, v.1, n.4, p.115-127, 2013.
- GOMES, R. C.; PASTORE, V. A. A.; MARTINS, O. A.; BIONDI, G. F. Aplicações da Nanotecnologia na Indústria de Alimentos. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v.9, n.1, p.1-8, 2015.

GREINER, R. Current and Projected Applications of Nanotechnology in the Food Sector. **Nutrire**, v.34, n.1, p.243-260, abril 2009.

HANDFORD, C. E.; DEAN, M.; HENCHION, M.; SPENCE, M.; ELLIOTT, C. T.; CAMPBELL, K. Implications of Nanotechnology for the Agri-Food Industry: Opportunities, Benefits and Risks. **Trends in Food Science and Technology**, v.40, p.226-241, 2014.

HANDFORD, C. E.; DEAN, M.; SPENCE, M.; HENCHION, M.; ELLIOTT, C. T.; CAMPBELL, K. Awareness and Attitudes Towards the Emerging Use of Nanotechnology in the Agri-Food Sector. **Food Control**, v.57, p.24-34, 2015.

JORNAL DO BRASIL. Nanotecnologia ganha espaço nas Micro e Pequenas Empresas Brasileiras. Disponível em: <<http://www.jb.com.br/ciencia-e-tecnologia/noticias/2015/06/06/nanotecnologia-ganha-espaco-nas-micro-e-pequenas-empresas-brasileiras/>>. Acesso em 13 de junho de 2015.

MANZER, H. S.; MOHAMED, H. A. W. Role of nano-SiO₂ in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill.). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.21, p.13–17, 2014.

MIHINDUKULASURIYA, S. D. F.; LIM, T.F. Nanotechnology Development in Food Packaging: A Review. **Trends in Food Science and Technology**, v.40, p.149-167, 2014.

MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C.; ZUCOLOTTI, V. Development of Cellulose-Based Bactericidal Nanocomposites containing Silver Nanoparticles and their Use as Active Food Packaging. **Journal of Food Engineering**, v.109, p.520-524, 2012.

PILOLLI, R.; MONACI, L.; VISCONTI, A. Advances in Biosensor Development Based on Integrating Nanotechnology and Applied to Food-Allergen Management. **Trends in Analytical Chemistry**, v.47, p.12-26, 2013;

PORTAL BRASIL. Comitê de Nanotecnologia aprova adesão do Brasil ao NanoReg. (2015). Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2014/08/comite-de-nanotecnologia-aprova-adesao-do-brasil-ao-nanoreg>>. Acesso em 13 de junho de 2015.

PORTAL EMBRAPA. Projetos – Nanotecnologia Aplicada à Degradação de Pesticidas em Água. (2015a). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/202008/nanotecnologia-aplicada-a-degradacao-de-pesticidas-em-agua>>. Acesso em 13 de junho de 2015.

PORTAL EMBRAPA. Projetos – Fabricação a Laser de Microeletrodos da Língua Eletrônica para Avaliação da Qualidade de Alimentos. (2015b). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/202005/fabricacao-a-laser-de-microeletrodos-da-lingua-eletronica-para-avaliacao-da-qualidade-de-alimentos>>. Acesso em 13 de junho de 2015.

PORTAL EMBRAPA. Projetos – Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio. (2015c). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/38194/nanotecnologia-aplicada-ao-agronegocio>>. Acesso em 13 de junho de 2015.

SIGMA-ALDRICH. Silver nanoparticles. Disponível em: <<http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>>. Acesso em 13 de junho de 2015.

SILVA, T. E. M.; PREMEBIDA, A.; CALAZANS, D. Nanotecnologia Aplicada aos Alimentos e Biocombustíveis: Interações Sociotécnicas e Impactos Sociais. **Liinc em Revista**, v.8, n.1, p.207-221, março 2012.

VEIGA-SANTOS, P.; DITCHFIELD, C.; TADINI, C. C. Development and Evaluation of a Novel pH Indicator. Biodegradable Film Based on Cassava Starch. **Journal of Applied Polymer Science**, v.120, p.1069-1079, 2011.