

1. Introdução

A nanotecnologia é a ciência dos materiais a nível de partículas com dimensões extremamente pequenas, da ordem nanométrica. Partículas deste tamanho apresentam uma grande área superficial e, frequentemente, exibem propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas ou químicas distintas de partículas e superfícies macroscópicas. O aproveitamento dessas propriedades em aplicações tecnológicas forma a base da nanotecnologia. Não há dúvida de que a nanotecnologia oferece a perspectiva de grandes avanços que permitam melhorar a qualidade de vida e ajudar a preservar o meio ambiente. Entretanto, como qualquer área da tecnologia que faz uso intensivo de novos materiais e substâncias químicas, ela traz consigo alguns riscos ao meio ambiente e à saúde humana (QUINA, 2014).

As mesmas propriedades que tornam os nanomateriais tão atrativos, podem também ser responsáveis por efeitos nocivos aos organismos vivos. A preocupação com relação à toxicidade das nanopartículas reside principalmente no fato de que estas nunca foram produzidas e utilizadas em produtos comerciais em tão larga escala como atualmente e que, assim sendo, o risco de alcançarem os diferentes aspectos ambientais. Por sua pequena dimensão, podem ter uma permeabilidade maior através da pele, mucosas e membranas celulares, podendo ter seu efeito tóxico. Um exemplo clássico é o ouro, que é um metal praticamente inerte, mas que na forma de nanopartículas se torna altamente reativo (PASCHOALINO, 2012).

A nanotecnologia tem grande potencial no desenvolvimento de embalagens, pode proporcionar diferentes alternativas, tais como o desenvolvimento de nanopartículas, nanodispersões, nanolaminados, e nanotubos, que, associados aos polímeros, podem fornecer diversas funções. Por exemplo, pela incorporação de propriedades antimicrobianas; nanosensores capazes de detectar produtos químicos, agentes patogênicos e toxinas em alimentos; nanopartículas bioativas capazes de manter os compostos em condições ideais e que melhorem as propriedades de barreira a gases e umidade e quanto à absorção de irradiação UV dos materiais aos quais são incorporados, assim como a estabilidade frente à temperatura (ALMEIDA, 2015).

Embalagens com aplicações nanotecnológicas adquirem melhores propriedades físico-químicas, redução da hidrofobicidade, além de proporcionar uma melhor biodegradabilidade, o que gera valor agregado aos produtos. Tais embalagens podem ser classificadas, genericamente, como: embalagens aprimoradas, cujos nanocompostos podem alterar suas propriedades e aumentar a validade comercial do alimento; embalagens ativas pela adição de nanocompostos, como por exemplo, nanopartículas de óxido metálicos ou de metais com propriedades antimicrobianas; embalagens bioativas, incorporando compostos bioativos capazes de prevenir ou reduzir riscos de doenças e embalagens inteligentes, incorporadas com nanosensores para monitorar e relatar as condições dos alimentos acondicionados ou do ambiente ao redor (SILVESTRE, 2011).

O uso de embalagens com nanotecnologia provoca discussões na seara da saúde, do direito, da economia, ou seja, em diferentes áreas. É nesse contexto de discussão interdisciplinar que o artigo pretende analisar o uso de tecnologia nano aplicada à indústria alimentar, com enfoque no uso de bionanosensores no controle de microrganismos, como também na detecção de contaminantes e resíduos em alimentos nas embalagens e a sua interface com a saúde e com o direito, especialmente no contexto da rotulagem dos alimentos.

No que concerne à metodologia, destaca-se que o método de abordagem é o descritivo-analítico, as técnicas serão a pesquisa bibliográfica e documental.

2. Notas preliminares

A nanotecnologia constitui uma revolução tecnológica e científica no mundo, por possuir aplicações em diferentes áreas de conhecimento como a química, física, computação engenharia e, também, a biologia. Em 1959 o físico Richard Feynman já iniciava pesquisas e discussões em torno da tecnologia de manipular os átomos e as moléculas, algo ainda invisível para os olhos humanos (SCOTT, 2005). De acordo com Brandão *et al.*, (2011), apenas em 1974 o pesquisador japonês Norio Taniguchi da Universidade Científica de Tóquio definiu o termo de nanotecnologia. Nas décadas de 80 e 90 surgiram várias teorias em torno dessa definição proposta por Norio Taniguchi, porém apenas no século 21, a partir do ano de 2000 que essa tecnologia foi desenvolvida efetivamente em laboratórios, e com isso, apresentaram grandes avanços nas pesquisas, sendo hoje o centro das atenções de cientistas, pesquisadores e governos no mundo inteiro.

Entende-se por nanotecnologia a tecnologia que permite manipular, criar ferramentas, materiais e estruturas em nível molecular, ou seja, átomos em estruturas funcionais de dimensões nanométricas, segundo Scott (2007). É um campo da ciência que aplica o controle e a possibilidade de manipulação da matéria (nanomateriais) e escalas nanométricas (1 a 100 nanômetros) (COPPO, 2009).

No grego *nano* provém da palavra anão, e dessa forma, um nanômetro (nm) é definido como uma bilionésima parte de um metro. De acordo com Scott, (2007) e Coppo, (2009) os exemplos dessa dimensão podem ser citados em: o eritrócito (diâmetro de 10.000 nm) uma bactéria (1.000 nm) um vírus (100 nm), uma proteína (podendo variar entre 5 a 50 nm), o DNA (2 nm) e um átomo (0,1 nm).

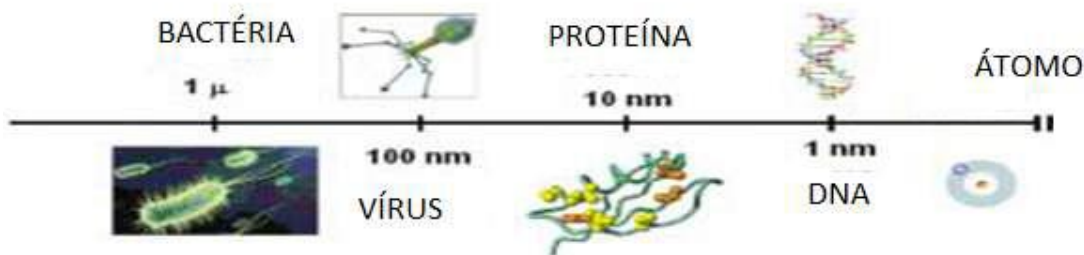


Figura 1. Dimensões dos diferentes tipos de organismos, moléculas e átomos.

Fonte: Adaptado de SCOTT, 2007.

Segundo Coppo, (2009) a definição de nanotecnologia envolve vários conceitos multidisciplinares da ciência. De acordo com Brandão (2011) todas as definições estão associadas a redução de escala, de pelo menos, uma parte da matéria (nanopartículas), proporcionando a transformação (aumento ou redução) de uma de suas características. Dessa forma a nanopartículas apresentam uma grande área de superfície e exibem propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas ou químicas que diferenciam as partículas e as superfícies macroscópicas da matéria (QUINA, 2004).

A nanotecnologia permite realizar uma revolução agropecuária e de produção de alimentos, nos quesitos de segurança alimentar, diagnóstico e tratamento de doenças, além das ferramentas moleculares, reprodução celular, detecção de patógenos e, também, da proteção do meio ambiente (SCOTT & CHEN., 2002).

De acordo com Chau *et al.*, (2007) os nanocompósitos são materiais híbridos, onde pelo menos um dos componentes apresentam dimensões nanométricas. A sua principal razão para suas melhorias no comportamento de materiais nanométricos, está relacionado com o elevado espaço da superfície do material, resultando em uma intensa interação entre o material em que está inserido as nanopartículas.

Segundo Park *et al.*, (2003), as maiores áreas industriais de alimentos que estão sendo beneficiadas com o desenvolvimento da nanotecnologia são os desenvolvimentos de materiais funcionais, processamento em nano e micro escalas, além do desenvolvimento de novos nanossensores para serem utilizados pela segurança alimentar. Diversas aplicações da nanotecnologia já vêm sendo utilizadas pela indústria de manipulação, como o uso da nanopartícula lipídica sólida (NLS), nanoemulsões, as nanocapsulas e, também, o uso dos nanocompósitos para utilização em embalagem de alimentos.

O processo de compreensão acerca da nanotecnologia nos últimos anos é baseado no universo das dimensões das partículas trabalhadas nessa tecnologia. Dessa forma, um nanômetro é uma unidade de medida que equivale a um bilionésimo do metro, ou seja, seria equivalente a comparação, em suas definições apropriadas, a dimensão de uma bola de futebol (0,29m) em relação à lua (3.474.800m). Como exemplos na natureza há uma imensidão de estruturas ou nanoestruturas, que estão nas dimensões nanométricas como os vírus, organelas celulares, proteína do leite, entre outras estruturas (SCOTT, 2005; BRANDÃO *et al.*, 2011).

Segundo Rumayor *et al.*, (2005) e Malheiros *et al.*, (2010), existem inúmeras possibilidades de utilização da nanotecnologia na indústria alimentícia. Entre outras possibilidades de aplicar essa tecnologia estão a utilização de sensores nanoestruturais e nanobiossensores para detecção de microrganismos patogênicos, aditivos, toxinas e resíduos em produtos alimentícios.

Por outro lado, a intensificação na aplicação de medidas para garantir a inocuidade dos alimentos e prevenir riscos à saúde humana, bem como barreiras sanitárias restritas ao comércio internacional, tem impulsionado o desenvolvimento de técnicas de diagnósticos (RUMAYOR *et al.*, 2005).

No contexto dos alimentos, de acordo com Embrapa (2008), a natureza da contaminação alimentar pode ser através do modo físico, químico ou biológico. A presença de materiais

estranhos nos alimentos, normalmente é de natureza física, mas facilmente verificada ao olho nu. Entretanto outras formas de contaminação não podem ser visualizadas, exceto se o mesmo realizar grandes alterações nas características sensoriais do produto. Portanto, ao final do processamento dos produtos alimentícios, é de suma importância a aplicação de métodos de análises sensoriais e de resultados rápidos que permitam avaliar a qualidade do produto verificado.

3. O uso de nanotecnologia em polímeros: o caso das embalagens dos alimentos

O uso da nanotecnologia em alimentos é relativamente novo se compararmos com a área biomédica e também com as indústrias de tecnologia de informação, que a nanotecnologia já está presente a algum tempo. Entretanto, existem inúmeras oportunidades para que sejam exploradas na indústria alimentar, como a elaboração de produtos com características funcionais e nutracêuticas, também o desenvolvimento de processos e as embalagens inteligentes, que de acordo com Drexler (2004) em que o conceito foi criado por Richard Feynman, e desde então as pesquisas indicaram melhorias em muitos materiais com a adição de nanocompósitos em seu desenvolvimento (ESPITIA *et al.*, 2012). Segundo (ZHOU *et al.*, 2011) as embalagens que apresentam aplicações nanotecnológicas apresentam melhores propriedades físico-química, além da redução da hidrofobicidade e proporcionam uma melhor biodegradabilidade, gerando um maior valor agregado ao produto.

As embalagens podem ser classificadas como as *embalagens aprimoradas*, onde os nanocompostos podem alterar as propriedades, aumentando a validade comercial do alimento. As *embalagens ativas* atuam pela adição de nanocompostos, como exemplo, as nanopartículas de óxido metálico ou de metais com propriedades antimicrobianas. Já as embalagens bioativas, contém em sua formulação, nanocompostos bioativos capazes de prevenir ou reduzir riscos de doenças. As embalagens inteligentes apresentam incorporadas os nanosensores para monitorar e relatar as condições dos alimentos acondicionados ou do seu ambiente (SILVESTRE., 2011).

Mesmo apresentando diversas vantagens em suas aplicações nas embalagens, a nanotecnologia em alimentos ainda esbarra em uma série de questões referentes ao surgimento da toxicidade atribuída as nanopartículas que podem ser transmitidas aos alimentos, ocasionando possíveis danos aos consumidores e também ao meio ambiente (FINNIGAN, 2009). Portanto, a aplicação dessa tecnologia necessita de um maior tempo de pesquisa com relação aos impactos e de uma regulamentação específica para o setor.

Em algumas embalagens aprimoradas que apresentam pouca flexibilidade, baixa barreira a gases e a umidade, a estabilização térmica e, também, a radiação UV dos materiais utilizados, e segundo Chau (2007) podem ser monitoradas com o uso de sensores que detectam os microrganismos patogênicos, as micotoxinas e proteínas específicas.

O uso das nanopartículas de celulose pode ser representado de duas formas diferentes: a microfibrila e os *whiskers* que são partes cristalinas conhecidas também por nanocristais. Esses nanocompósitos podem melhorar as propriedades dos polímeros com relação à barreira de umidade. Com a introdução da celulose, as fibras cristalinas aumentam a composição do material, conduzindo a processos de difusão mais lentos e reduzindo a permeabilidade (SANCHEZ-GARCIA *et al.*, 2008).

Uma alternativa para solucionar os problemas da fotodegradação pela radiação ultravioleta (UV) do filme de polipropileno é a incorporação de nanocompostos de dióxido de titânio (TiO₂), que atuam como bioestabilizadores desse tipo de radiação em polímeros devido a sua capacidade semi-condutora (WONG *et al.*, 2006). A atividade fotocatalítica do TiO₂, está vinculada com as estruturas cristalinas e podem apresentar em três formas distintas que são a anatase, tetragonal ou ortorrômbica, apresentando reatividades diferentes (CHALESHTORI., 2008).

Nas embalagens ativas pela adição de nanocompostos há uma grande variedade de materiais metálicos em nanoescalas que têm sido objeto de estudo devido as suas capacidades antimicrobianas. Entre esses materiais, incluem-se nanopartículas a base de dióxido de titânio e prata (GOGOI *et al.*, 2006; TANG *et al.*, 2012).

O uso de nanopartículas de prata apresentam vantagens por ser facilmente incorporados a vários materiais, como plástico e têxteis, tornando-se úteis para serem aplicadas em amplo espectro, mantendo a atividade antimicrobiana (DUNCAN., 2011). Apresentam funcionalidades em estudos em diversas espécies de bactérias como as *Escherichia Coli*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio cholerae*, *Bacillus anthracis*, *Salmonella*, entre outras. Além disso os compostos de prata são tóxicos para os fungos como a *Candida albicans* e *Aspergillus Níger* (GOGOI *et al.*, 2006).

Já as partículas de TiO₂ (dióxido de titânio) também são bem promissoras. Ao contrario da prata, as ações antibacterianas atuam via fotocatalise, sendo ativos na presença de luz UV

(KIM., 2003). Em princípio, os filmes utilizados em embalagens de alimentos que apresentam a nanopartícula de TiO₂ podem apresentar benefícios adicionais de proteger os componentes de alimentos dos efeitos oxidantes da radiação UV (EMAMIFAR., 20011).

O termo “embalagem bioativas” são utilizadas como referência às embalagens que interagem de forma desejável com o alimento, apresentando em sua composição polímeros de origem biológica ou natural. As nanocápsulas e nanodispersões são os mecanismos ideais para carregar os ingredientes funcionais (COMA 2008; ASSIS *et al.*, 2012). A nanocápsula é a tecnologia que incorpora as substâncias em nano escala. Estes novos nanomateriais oferecem diversas vantagens como o sistema de entrega de compostos lipofílicos, protege contra a degradação dos produtos durante o processamento ou pela passagem pelo trato gastrointestinal, além do controle de liberação dos compostos em local específico.

Segundo Lopez-Rubio et al., (2006) apresentaram um novo sistema de liberação com nanodispersões e nanoencapsulamento, associados diretamente aos materiais de embalagem, que essas embalagens bioativas ou funcionais, seriam materiais de embalagem que retém os princípios bioativos desejáveis em boas condições até a sua migração para o produto alimentício. Dessa forma, a principal diferença as principais diferenças se devem a manutenção de qualidade e a segurança dos alimentos embalados, aumentando a sua vida de prateleira.

Os nanosensores podem ser adicionados diretamente no material de embalagem, tendo como funcionalidade a detecção de substâncias químicas liberadas durante a deterioração do alimento (SOZER., 2009), trata-se, pois, das embalagens inteligentes. Essa embalagem tem um grande potencial devido a sua velocidade e precisão com que as indústrias e agências reguladoras serão capazes de detectar a degradação do produto com maior precisão. Muitos desses formatos são através de alterações de coloração da embalagem que ocorrem nas soluções de nanopartículas de metal, como por exemplo, o uso de nanopartículas de ouro em formato de (AuNPs) funcionalizadas com os grupos de ácido cianúrico, ligando-se a melamina, um adulterante usado para aumentar artificialmente o teor proteico em alimentos para animais e, também, para fórmulas para lactentes.

4. Toxicidade e a nano nos alimentos: malefícios ou benefícios à saúde?

O desenvolvimento dessa nova tecnologia tem provocado preocupações e debate, pois alguns nanomateriais como nanopartícula de prata, dióxido de titânio podem resultar em

imprevisíveis problemas de segurança e graves riscos à saúde humana. Também existe a preocupação com a inalação das nanopartículas, pelo fato das partículas serem muito pequenas, elas podem vencer as barreiras naturais do aparelho respiratório, depositando-se e acumulando-se nos alvéolos pulmonares, responsáveis pela troca gasosa de oxigênio e de gás carbônico com a corrente sanguínea (PASCHOALINO., 2010). O dióxido de titânio quando inaladas elas se depositam nos alvéolos pulmonares ocasionando doenças crônicas como inflamação pulmonar, pneumonia entre outras (KIM., 2003).

Segundo (OBERDORSTEN *et al.*, 2006), a formas com que as nanopartículas entram no corpo humano, a possibilidade de acumular e a translocação das mesmas no corpo, pode determinar um grande potencial de risco a saúde humana.

Três vias de exposição a nanomateriais podem ser consideradas pelos humanos como a inalação sendo considerada a rota principal para os trabalhadores de indústrias e laboratórios; a ingestão sendo considerada a via predominante para a população no geral, e pode também ocorrer a forma indireta por meio da migração de nanomateriais das embalagens para os alimentos, e absorção em contato com a pele, através do uso de cosméticos (BRASIL., 2013). A ingestão de nanopartículas podem ocorrer de forma involuntária através do consumo de água com nanopartículas, provenientes de aparelhos de purificação que usam os nanomateriais filtrantes ou desinfetantes. (PASCHOALINO., 2010).

De acordo com Avella *et al.*, (2005) são poucos estudos sobre a migração da nanopartícula das embalagens para os alimentos, tornando-se difícil avaliar o perigo ao consumidor final, embora uma avaliação minuciosa da natureza desses materiais e também a aplicação a que se destina possa fornecer uma base para classificar os possíveis riscos de forma individual.

Para determinar a toxicidade das embalagens que apresentam as nanopartículas, muitos parâmetros devem ser avaliados como o tamanho da nanopartícula, a forma e a solubilidade, os compostos químicos dentre outros fatores. Essas avaliações de riscos são feitas para identificar e quantificar os possíveis riscos à saúde (AVELLA *et al.*, 2005).

No que concerne aos benefícios do uso de nanotecnologia nas embalagens dos alimentos, pode-se destacar que existem embalagens bioativas ou funcionais que possuem a capacidade de interagir com os alimentos e apresentam em sua composição polímeros de

origem biológica ou natural. As nanodispersões e as nanocápsulas são os mecanismos responsáveis por carregar ingredientes funcionais, através de tecnologia capaz de incorporar materiais em nano escala. São muitas as vantagens proporcionadas por esses novos materiais, como, por exemplo, a proteção contra degradação durante o processamento ou durante a passagem pelo trato gastrointestinal, liberação de determinada substância em local específico e maior absorção pelo organismo (ALMEIDA, 2015).

Essas novas tecnologias teriam a capacidade de manter a qualidade e aumentar a segurança dos alimentos por elas envoltos, além disso poderiam prolongar a validade comercial de produtos alimentícios, ou o inverso, qual seja, detectar a deterioração desses alimentos através de nanossensores, com isso deixariam os alimentos mais saudáveis. Ademais, esses novos sistemas possibilitariam que próbióticos, probióticos, fitoquímicos, óleos marinhos, e vitaminas encapsuladas, sejam acrescentadas aos alimentos, bem como possibilitam que substâncias indesejadas sejam retiradas dos alimentos, como a lactose (ALMEIDA, 2015).

Com isso, verifica-se que a nanotecnologia possui amplas possibilidades, que não se limitam apenas aos possíveis riscos à saúde única, justificando, portanto, o aprofundamento nos estudos referentes ao tema. Segundo Chaudhry, mais de 200 empresas globais realizam diversas pesquisas sobre o uso dessa nova tecnologia, seja na agricultura ou na engenharia envolvida na fabricação de embalagens aprimoradas para os alimentos.

5. Aspectos jurídicos relacionados às embalagens e seus riscos

Em paralelo aos benefícios trazidos pela nanotecnologia, estão os riscos a ela associados devido ao seu ineditismo coberto de incertezas. Estudos empíricos realizados com a população revelaram que existe baixa tolerância popular por produtos alimentícios que utilizam a nanotecnologia. Outro fator relevante para que esses produtos circulem no comércio é o custo de sua fabricação, bem como a legislação vigente em cada país (PEREZ, et al, 2012).

Atualmente apenas três materiais que utilizam a nanotecnologia são aceitos, com algumas restrições, o negro de carbono, o nitreto de titânio e dióxido de silício. O Food and Drug Administration (FDA), nos Estados Unidos, não estabeleceu diretrizes sobre a nanotecnologia, pois a agência se posiciona no sentido que materiais quimicamente idênticos a algum outro material já aprovado por ela, ou a alguma substância reconhecida como segura,

podem ser utilizados. Contudo, ressalta que, estudos sobre o tema devem ser realizados e levados em consideração (ALMEIDA, et al, 2015).

Já na União Européia, as embalagens que fazem uso de materiais nanotecnológicos devem seguir os preceitos das Diretivas 82/711/CEE, 85/572/CEE e Diretiva 1333/2008, bem como deve ser precedido de processo avaliatório pela European Food Safety Agency (EFSA) (ALMEIDA, et al, 2015).

No Brasil, a legislação específica é inexistente, assim utilizam-se as leis vigentes por analogia. Os critérios brasileiros utilizados para a confecção de embalagens para alimentos estão expressos na RDC nº 51 de 26 de novembro de 2010. O Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNano, Portaria no 245 em 05 de abril de 2012), criado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, tem como objetivo estimular a nanotecnologia nas esferas, científicas e políticas (ALMEIDA, et al, 2015).

O Projeto de Lei nº 5133/13, do Deputado Sarney Filho, tem como objetivo estabelecer um padrão para as rotulagens de produtos desenvolvidos por processos nanotecnológicos ou que utilizam essa tecnologia. Segundo esse PL os produtos que utilizam nanotecnologia devem conter um símbolo que o identifique como tal (ALMEIDA, et al, 2015).

Ademais, o PL 6741/2013, é mais abrangente, pois dispõe sobre a Política Nacional de Nanotecnologia, a pesquisa, a produção, o destino de rejeitos e o uso da nanotecnologia no país. Em seu artigo 3º define nanotecnologia como sendo “a manipulação de matérias em uma escala que vai de 1 a 100 nanômetros, em pelo menos uma de suas dimensões, para a produção de estruturas, materiais e produtos com novas características físico-química”. (CAMARA, 2018). O artigo 6º do Projeto de Lei 6741/2013, é taxativo quanto à observância do princípio constitucional da precaução para a utilização de nanotecnologia e seus produtos.

Verifica-se que, apesar de incipiente os estudos sobre o tema são fundamentais para que sejam criadas legislações efetivas e específicas sobre um tema que ainda é muito discutido sobre suas entusiasmantes possibilidades benéficas ou não, uma vez que as tecnologias não são, boas ou más, porém, a nanotecnologia traz também uma quantidade importante de riscos, previsíveis e imprevisíveis, portanto, incumbe ao Estado assegurar a sociedade brasileira.

6. Considerações finais

Os estudos dos materiais em nanoescalas para uso em alimentos, bem como seu comportamento tem surgido bem lentamente. O principal fator que limita o crescimento e desenvolvimento é o grau de conhecimento dessa tecnologia por pesquisadores, indústrias e engenheiros, que ainda permanecem despreparados para avaliar os riscos dos nanomateriais e seus produtos de degradação ao meio ambiente e também a saúde humana. As vantagens desta nova tecnologia são indiscutíveis, entretanto é fundamental verificar todos os riscos e incertezas associados ao uso da nanotecnologia, não sendo todos conhecidos ainda.

O desenvolvimento e a utilização de nano nas embalagens de alimentos têm sido um importante avanço em diversas áreas. Cada vez mais, novas técnicas e materiais são testados, e as possibilidades de aplicação e interação com métodos antigos aumentam. Os fenômenos químicos observados em escala nanométrica podem contribuir substancialmente para os avanços no controle de qualidade dos alimentos, assim como garantir maior segurança aos alimentos destinados ao consumo humano. Contudo, é de grande valia ressaltar que o desenvolvimento destas tecnologias que servirão de ferramenta para o controle da qualidade de alimentos ainda se encontra em fase inicial, havendo muitas teorias que devem ser mais bem estudadas para fins de aplicação na manipulação de alimentos, com especial ênfase nas avaliações dos riscos e benefícios.

Nesse contexto, emerge a necessidade crescente de estudos relacionados à toxicidade desses novos materiais, tanto para o meio ambiente, quanto para a saúde humana. Tais materiais podem, por exemplo, apresentar diversos metais pesados em sua composição que são conhecidamente tóxicos. Além disso, por seu tamanho reduzido, esses compostos interagem grandemente com o ambiente ao seu redor, seja ele o externo ou o fisiológico.

Sem dúvida, o desenvolvimento do uso de embalagens com nanotecnologia ainda é oneroso devido às suas complexidades, mas a incorporação de nanomateriais vem provando ser uma grande vantagem, com bons resultados em diferentes áreas. Dentro deste cenário, dois pontos devem ser estudados e desenvolvidos com urgência no Brasil: os possíveis efeitos do uso dessa tecnologia e um marco regulatório que traga uma fiscalização isenta e eficaz. Em se tratando do Marco Legal, a Lei de Biossegurança (1105/05) dá uma diretriz no que diz respeito aos órgãos e às entidades de registro e fiscalização; porém, possui aplicabilidade ainda ínfima em um país de dimensões continentais como o Brasil. Além disso, mencionada lei carece de regulamentação específica para a nanotecnologia, tornando ainda mais difícil o controle necessário sobre tema tão relevante e presente no dia a dia da maioria das pessoas.

A tecnologia nano demanda regulação específica para a área dos alimentos, dadas as suas particularidades. Ainda estamos discutindo as questões jurídicas com base em legislações generalistas e não específicas para nanotecnologia. É preciso alargar a compreensão da regulação e transcender, inicialmente, a figura da lei. Incorporar e considerar outras fontes regulatórias é uma alternativa. As normas ISO e o empoderamento da ANVISA e do MAPA mostram-se como necessidade imediata. Isso é resultado da compreensão da relação do direito à saúde com o direito aos alimentos seguros, eficazes e de qualidade. Assim, o manuseio do risco dentro do fenômeno regulatório é outro desafio. Ainda não sabemos quais são os desdobramentos e os caminhos que a nano nos alimentos pode propiciar. Vivemos tempos parecidos com a metáfora da cegueira; no entanto, é preciso regular!

O medo cega.

(SARAMAGO, 2002.)

Referências

AI K., Liu, Y., & Lu, L. Hydrogen-bonding recognition-induced color change of gold nanoparticles for visual detection of melamine in raw milk and infant formula. **Journal of the American Chemical Society**, 131(27), 2009, p. 9496-9497. <http://dx.doi.org/10.1021/ja9037017>.

ALMEIDA, Ana Carolina Sergio et al. Aplicação de nanotecnologia em embalagens de alimentos. **Polímeros**. V. 25, n.sp, p.89-97, 2015. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010414282015000700013&lng=en&nrm=iso

ASSIS, L. M., Zavareze, E. R., Prentice-Hernández, C. & Souza-Soares, L. A. (2012). Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, 15(2), 99-109. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232012005000004>.

AVELLA, M., De Vlieger, J. J., Errico, M. E., Fischer, S., Vacca, P., & Volpe, M. G. (2005). Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. **Food Chemistry**, 93(3), 467-474. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.024>.

BRANDÃO, H. M. Nanotecnologia: a próxima revolução na agropecuária. **Revista CRMV**, Brasília, v.17, n. 53, p 61-67, 2011.

BRASIL. **Projeto de Lei 5133/2013**. Regulamenta a rotulagem de produtos da nanotecnologia e de produtos que fazem uso da nanotecnologia. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2013.

CHALESHTORI, M. Z., MASUD, S. M. S., SAUPE, G. B. Using new porous nanocomposites for photocatalytic water decontamination. **Materials Research Society Symposium Proceedings**, p. 1145, 75-80, 2008. <http://dx.doi.org/10.1557/PROC-1145-MM04-36>.

CHAU, C. F., Wu, S. H., & Yen, G. C. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. **Trends in Food Science & Technology**, 18(5), 269-280. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2007.01.007>.

COMA, V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. **Meat Science**, 78(1-2), 90-103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.035>. PMID:22062099.

COPPO, J.A. Nanotecnología, medicina veterinaria y producción agropecuaria. **Revista Veterinaria**, Corrientes, v. 20, n. 1, p 61–71, 2009.

DREXLER, K. E. Nanotechnology: From Feynman to Funding. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 24(1), p. 21-27, 2004. <http://dx.doi.org/10.1177/0270467604263113>.

DUNCAN, T. V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. **Journal of Colloid and Interface Science**, 363(1), p. 1-24, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>. PMID:21824625.

EMAMIFAR, A., KADIVAR, M., SHAHEDI, M., & SOLEIMANIAN-ZAD, S. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice. **Food Control**, 22(3-4), p. 408-415, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.011>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Org. FURTADO, R. F.; DUTRA, R. A. F.; ALVES, C. R.; PIMENTA, M. G. R.; GUEDES, M. I. F. **Aplicações de biossensores na análise da qualidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa, 2008. 22p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 117).

ESPITIA, P., SOARES, N. F., COIMBRA, J. S. R., ANDRADE, N. J., CRUZ, R. S., & MEDEIROS, E. A. A. Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. **Food and Bioprocesses Technology**, 5(5), p. 1447-1464, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0797-6>.

FINNIGAN, B. Barrier polymers. In: K. L. Yam (Ed.), **The wiley encyclopedia of packaging technology**, p. 103-109, 2009. New York: John Wiley and Sons.

GOGOI, S. K., GOPINATH, P., PAUL, A., RAMESH, A., GHOSH, S. S., & CHATTOPADHYAY, A. Green fluorescent protein-expressing *Escherichia coli* as a model system for investigating the antimicrobial activities of silver nanoparticles. **Langmuir**, 22(22), p. 9322-9328, 2006. <http://dx.doi.org/10.1021/la060661v>. PMID:17042548.

JIN, X., JIN, X., CHEN, L., JIANG, J., SHEN, G., & YU, R.. Piezoelectric immunosensor with gold nanoparticles enhanced competitive immunoreaction technique for quantification of aflatoxin B1. **Biosensors & Bioelectronics**, 24(8), p.2580-2585, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2009.01.014>. PMID:19237278.

KIM, B., KIM, D., CHO, D., & CHO, S. Bactericidal effect of TiO₂ photocatalyst on selected food-borne pathogenic bacteria. **Chemosphere**, 52(1), p.277-281, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00051-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00051-1). PMID:12729712.

LIU, H., XIE, F., YU, L., CHEN, L., & LI, L. Thermal processing of starch-based polymers. **Progress in Polymer Science**, 34(12), p.1348-1368, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001>.

LOPEZ-RUBIO, A., GAVARA, R., & LAGARON, J. M. Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials. **Trends in Food Science & Technology**, 17(10), p.567-575, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.012>.

MALHEIROS, P. S.; DAROIT, D. J.; DA SILVEIRA, N. P.; BRANDELLI, A. Effect of nanovesicle-encapsulated nisin on growth of *Listeria monocytogenes* in milk. **Food Microbiology**, London, v. 27, n. 1, p. 175- 178, 2010.

OBERDORSTER, E., ZHU, S., BLICKLEY, T. M., MCCLELLAN-GREEN, P., & HAASCH, M. L. Ecotoxicology of carbon-based engineered nanoparticles: effects of fullerene (C60) on aquatic organisms. **Carbon**, 44(6), p.1112-1120, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2005.11.008>.

PARK, H. M., LEE, W. K., PARK, C. ., CHO, W. J., & HA, C. S.. Environmentally friendly polymer hybrids: part 1. Mechanical, thermal, and barrier properties of the thermoplastic starch/clay nanocomposites. **Journal of Materials Science**, 38(5), p.909-915, 2003. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022308705231>.

PASCHOALINO, M. P., MARCONE, G. P. S. & JARDIM, W. F. Os nanomateriais e a questão ambiental. **Química Nova**, 33(2), p.421-430, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000200033>.

PEREZ, F. S., BERTAGNOLLI, S. M., ALVES, M. P., PENSSA, N.G. Nanotecnologia: aplicações na área de alimentos. **Disc. Scientia. Série: Ciências da Saúde**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2012. <http://sites.unifra.br/Portals/36/CSAUDE/2012/09.pdf>

QUINA, F. H. Nanotecnologia e o Meio ambiente: Perspectivas e Riscos. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 1028-1029, 2004.

RUMAYOR, V. G.; IGLESIAS, E. G.; GALÁN, O. R.; CABEZAS, L. G. **Aplicaciones de biosensores en la industria agroalimentaria**. Madri: Elecé Industria Gráfica, 2005.

SANCHEZ-GARCIA, M. D., GIMENEZ, E., & LAGARON, J. M. Morphology and barrier properties of solvent cast composites of thermoplastic biopolymers and purified cellulose fibers. **Carbohydrate Polymers**, 71(2), p.235-244, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.041>.

SCOTT, N.; CHEN, H. **A National Planning Workshop: Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems.** Washington: DC, 2002.

SCOTT, N. R. Nanotechnology and animal health. **Revue scientifique et technique: Office international des épizooties**, Paris, v. 24, n. 1, p. 425-432, 2005.

SCOTT, N. R. Nanoscience in Veterinary Medicine. **Veterinary Research Communications**, Dordrecht, v. 31, (supl. 1), p. 139-144, 2007.

SILVESTRE, C., DURACCIO, D., & CIMMINO, S. Food packaging based on polymer nanomaterials. **Progress in Polymer Science**, 36(12), p.1766-1782, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.02.003>.

SOZER, N., & KOKINI, J. L. Nanotechnology and its applications in the food sector. **Trends in Biotechnology**, 27(2), p.82-89, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.10.010>. PMID:19135747.

TANG, Z. X., FANG, X. J., ZHANG, Z. L., ZHOU, T., ZHANG, X. Y. & SHI, L. E. Nanosize MgO as antibacterial agent: preparation and characteristics. **Brazilian Journal of Chemical Engineerig**, 29(4), p. 775-781, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322012000400009>.

ZHOU, Q., PRAMODA, K. P., LEE, J. M., WANG, K., & LOO, L. S. Role of interface in dispersion and surface energetics of polymer nanocomposites containing hydrophilic POSS and layered silicates. **Journal of Colloid and Interface Science**, 355(1), 222-230, 2011p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2010.12.010>.

WONG, Y. W. H., YUEN, C. W. M., LEUNG, M. Y. S., KU, S. K. A., & LAM, H. L. I. (2006). Selected applications of nanotechnology in textiles. **AUTEX Research Journal**, 6(1), 1-8. http://www.autexrj.com/cms/zalaczone_pliki/1-06-1.pdf.