

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Engenharia de Alimentos

**APLICAÇÃO DE NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE
ALIMENTOS: REVISÃO DE LITERATURA**

Beatriz Megume Rodrigues Matsuki

Beatriz Megume Rodrigues Matsuki

**APLICAÇÃO DE NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS:
REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Igor Viana Brandi

Montes Claros
2023

Beatriz Megume Rodrigues Matsuki. **APLICAÇÃO DE**
NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS: REVISÃO DE
LITERATURA

Aprovada pela banca examinadora constituída por:

Leonardo Correa Gomes da Silva – Mestrando ICA/UFMG

Sandro Braga Soares – Técnico ICA/UFMG

Prof. Dr. Igor Viana Brandi - Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 14 de dezembro de 2023.

RESUMO

A nanotecnologia é um campo emergente estimulante que abre um novo mundo com novas possibilidades para a indústria de alimentos. Há diversas aplicações da nanotecnologia na Indústria de Alimentos, como exemplo, para embalagens, a fim de melhorar as barreiras de materiais plásticos, incorporar ingredientes ativos que podem fornecer propriedades funcionais, além daquelas embalagens tradicionais e na detecção e sinalização de informações relevantes. Este trabalho tem como objetivo identificar as vantagens vistas na aplicação da nanotecnologia na área alimentícia, bem como mostrar o que é a nanotecnologia e como se dá nas áreas de alimentos e embalagens alimentícias. A metodologia utilizada trata-se de uma revisão integrativa e sistemática da literatura, descritiva, de aspecto qualitativo, método que oferece, como resultado, a situação atual acerca do conhecimento sobre o tema investigado. As aplicações de nanotecnologia podem ser usadas na indústria alimentícia para detectar bactérias em embalagens ou produzir melhor sabor e cor, bem como aumentar a segurança dos alimentos. Portanto, a nanotecnologia tem amplas perspectivas e vantagens, fornecendo benefícios à alimentação e abrindo novas oportunidades a indústria alimentar, que se inova constantemente.

Palavras – chave: Desenvolvimento. Inovação. Tecnologia.

ABSTRACT

Nanotechnology is an exciting emerging field that opens up a new world of new possibilities for the food industry. There are several applications of nanotechnology in the Food Industry, for example for packaging, in order to improve the barriers of plastic materials, incorporate active ingredients that can provide functional properties, in addition to those of traditional packaging and in the detection and signaling of relevant information. This work aims to identify the advantages seen in the application of nanotechnology in the food sector, as well as showing what nanotechnology is and how it works in the areas of food and food packaging. The methodology used is an integrative and systematic review of the literature, descriptive, with a qualitative aspect, a method that offers, as a result, the current situation regarding knowledge on the topic investigated. Nanotechnology applications can be used in the food industry to detect bacteria in packaging or produce better taste and color, as well as increase food safety. Therefore, nanotechnology has broad perspectives and advantages, providing benefits to food and opening new opportunities for the food industry, which is constantly innovating.

Keywords: Development. Innovation. Technology.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos encontrados nas bases de dados PubMed, Scielo, Lilacs e Google Scholar.....	23
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNA - Ácido Desoxirribonucleico

SPM - *Molecular Imaging*

STM - Microscópio de tunelamento com varredura

RFID - *Radio Frequency Identification*

FSA - *Food Standards Agency*

OGM – Organismos Geneticamente Modificados

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 - NANOTECNOLOGIAS	11
2.2 - NANOTECNOLOGIAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.....	12
2.3 - ALIMENTOS NANOENCAPSULADOS	15
2.3.1- BEBIDAS FUNCIONAIS	15
2.3.2 - PANIFICAÇÃO DO FUTURO	16
2.3.3 - SNACKS SAUDÁVEIS	16
2.3.4 - LÁCTEOS DO AMANHÃ	16
2.3.5 - DO ESPORTE À HIDRATAÇÃO	17
2.3.6 - ALIMENTAÇÃO INFANTIL	17
2.3.7 - SUPLEMENTOS DO FUTURO	17
2.3.8 - CHOCOLATES FUNCIONAIS.....	18
2.3.9 - TENDÊNCIAS, DESAFIOS E FUTURO	18
2.4 - NANOTECNOLOGIAS EM EMBALAGENS DE ALIMENTOS.....	18
3. METODOLOGIA	22
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
5. CONCLUSÃO	26
6. REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

A nanociência e a nanotecnologia são as novas fronteiras deste século. As aplicações na agricultura e na alimentação são relativamente novas se comparadas ao seu uso na distribuição de produtos farmacêuticos e drogas, entrega inteligente de nutrientes, biosseparação de proteínas e amostragem rápida de contaminantes biológicos e químicos e nano encapsulação de nutracêuticos são alguns dos tópicos de nanotecnologia para alimentos e agricultura. Os progressos tecnológicos, como microarrays de DNA, sistemas micro eletromecânicos e micro fluídicos, irão permitir a realização do potencial da nanotecnologia em aplicações alimentares (FARIA, 2019). Nano compostos têm sido usados em vários campos, como eletrônica de computadores, comunicações, produção de energia, produtos farmacêuticos, alimentos industriais. A fabricação em nanoescala geralmente visa imitar nanodispositivos encontrados na natureza que incluem: proteínas, DNA, membranas e outras biomoléculas (SANTOS, 2018).

A nanociência é um campo com grande potencial para aplicações tecnológicas. É considerada uma ferramenta valiosa para melhoria e desenvolvimento de novos produtos. A nanotecnologia levou a melhorias nas técnicas de produção e processamento de alimentos, prolongando a vida útil dos alimentos, modificando a textura, alterando o sabor, a qualidade e a segurança dos alimentos (MARTINS *et al.*, 2015).

Pode ser definido como uma expressão geral de um complexo de tecnologias, processos baseados na manipulação de moléculas ou átomos visando o desenvolvimento de novos materiais em nanoescala, podendo ser aplicado em diversos campos na indústria alimentar, a importância e o impacto da nanotecnologia podem ser observados em todas as fases, desde a produção agrícola até ao armazenamento e posterior consumo. Todos os dias um novo produto é desenvolvido utilizando embalagens ativas inteligentes com melhor resistência térmica, propriedades mecânicas e biodegradabilidade (FERREIRA *et al.*, 2018).

Os materiais alimentares são muitas vezes considerados não apenas uma fonte de nutrientes, mas também como tendo que contribuir para a saúde dos consumidores. As nanopartículas mais tradicionalmente utilizadas pertencem ao grupo coloidal, isto é, emulsões, micelas, monocamadas e bicamadas. A primeira dispersão de ouro coloidal foi desenvolvida por Michael Faraday em Meados do século XVIII

(DEL AGUILA, 2017).

Devido aos rápidos avanços da ciência, os sistemas de embalagem nano tecnológicos estão se tornando cada vez mais complexos. Os desenvolvimentos contínuos na tecnologia estão impulsionando a inovação em embalagens inteligentes para preservação e armazenamento de alimentos. Os agentes antimicrobianos nas embalagens de frutas e vegetais podem prolongar a vida útil e retardar a deterioração dos alimentos. Este processo é necessário para reduzir a quantidade de produtos químicos necessários nos alimentos. As embalagens não biodegradáveis apresentam muitas desvantagens e representam uma ameaça ao meio ambiente devido ao conteúdo de substâncias tóxicas. A utilização de nanomateriais como aditivos alimentares também é alvo de pesquisas para obtenção de sabor, cor, estabilidade de processamento e maior vida útil (MARTINS *et al.*, 2015).

A partir desse contexto surge a problemática: Quais são os benefícios e riscos da aplicação da nanotecnologia na indústria alimentícia? Para tanto justifica-se a realização deste trabalho, pois a nanotecnologia já está presente em diversas áreas como *laptops*, protetores solares, em calçados esportivos, telefones celulares, tecidos, cosméticos, automóveis e medicamentos, dessa forma surgiu o interesse em estudar sobre a nanotecnologia na indústria de alimentos, e assim poder contribuir para discussões futuras acerca do tema.

O objetivo deste trabalho é: identificar as vantagens vistas na aplicação da nanotecnologia na área alimentícia, bem como mostrar o que é a nanotecnologia e como se dá nas áreas de alimentos e embalagens alimentícias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - NANOTECNOLOGIAS

A nanotecnologia pode assumir duas formas e possui duas características principais. A primeira refere-se ao prefixo nano, que é uma métrica de medição, nanômetro significa um bilionésimo de metro, ou 10^{-9} metros. Portanto, a nanotecnologia refere-se apenas à escala e não aos objetos, como a biotecnologia, onde o prefixo bio significa vida. O segundo aspecto é que a nanotecnologia se refere a uma gama de técnicas de manipulação da matéria em escala atômica e molecular, necessitando de microscópios especiais (Microscópio de tunelamento com varredura e Molecular Imaging) para visualização (BUSQUETS, 2017)

Uma segunda forma de introduzir a nanotecnologia é primeiro pensar na nanociência como o estudo dos princípios fundamentais de moléculas e estruturas com dimensões entre 1 e 100 nm (nanômetros). A nanotecnologia será a aplicação dessas moléculas e nanoestruturas em nanodispositivos. Embora as nanopartículas sejam compostas pelos mesmos elementos químicos, elas se comportam de maneira diferente em comparação com partículas maiores em termos de cor, propriedades termodinâmicas, condutividade elétrica e muito mais. O tamanho das partículas é, portanto, crítico porque altera a natureza das interações de força entre as moléculas dos materiais, alterando assim o impacto desses processos ou produtos nanotecnológicos no meio ambiente, na saúde humana e na sociedade como um todo (BUSQUETS, 2017)

O termo nanotecnologia foi usado pela primeira vez pelo professor Norio Taneguchi, da Universidade de Ciências de Tóquio. Ele usou o termo para descrever a fabricação precisa de novos materiais com tolerâncias nanométricas. Na década de 1980, o termo adquiriu novas conotações com a publicação do livro de Dexler intitulado *Engines of Creation – A New Era in Nanotechnology* (1986). A nanotecnologia ganhou novo impulso na comunidade científica em 1991 com a defesa da tese do mesmo autor intitulada "Nanosistemas: Máquinas Moleculares, Fabricação e Computação" no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) (HAMAD, 2018)

A bibliografia sobre nanotecnologia já é bastante rica e diversificada. Para resumir este debate podemos referir-nos ao trabalho de Wood (2003). Numa escala

mais ampla, aqueles que argumentam que a nanotecnologia apresenta uma descontinuidade fundamental podem referir-se a este debate, enquanto aqueles que argumentam contra esta visão argumentam que a nanotecnologia exibe apenas continuidade evolutiva com outras tecnologias.

As nanopartículas apresentam qualidades e propriedades únicas que levantarão novas questões de responsabilidade e controle. Três itens estarão relacionados a estes: o primeiro é a invisibilidade. Embora esteja diretamente relacionada com a nanotecnologia, a tecnologia furtiva estará associada às primeiras estruturas complexas e intencionalmente concebidas e, portanto, tornar-se-á cúmplice na implementação de uma série de atividades produtivas para fins humanos. O segundo item é o exercício. Embora a nanotecnologia não seja tão intrínseca como a tecnologia furtiva, terá um impacto significativo nas questões de barreiras, uma vez que as nanopartículas serão capazes de ultrapassar cercas, paredes, pele humana, células e muito mais. O terceiro é a autorreplicação, porque a criação de nanopartículas autorreplicantes será o teste mais severo da revolução da nanotecnologia. Do ponto de vista econômico, a autorreplicação é muito importante para a produção em massa de nano máquinas (SUCHMAN, 2002)

Portanto, essa propriedade de autorreplicação acaba sendo muito importante. Por outro lado, questões profundas foram levantadas sobre se os humanos são capazes da autorreplicação, de prever e controlar as nano máquinas. Há suspeitas profundas de que as nano máquinas podem replicar-se sem controle e não podem ser desligadas. A furtividade, a locomoção e a autorreplicação poderiam ser melhoradas se os nano robôs tivessem a capacidade de operar autonomamente e de se modificarem (MARTINS, 2018).

2.2 - NANOTECNOLOGIAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A definição de nano alimento é a das técnicas ou ferramentas nanotecnologias usadas durante o cultivo, produção, ou embalagem do alimento. Isso não significa que sejam alimentos de engenharia atômica ou alimentos produzidos por nano máquinas. No entanto, a ideia de usar nano máquinas para criar alimentos moleculares não é clara e é considerada irrealista num futuro próximo (MASSON; BELINO, 2021)

Por exemplo, na indústria de processamento de alimentos podemos considerar as nano fábricas, que em última análise não requerem a mão de obra especializada e as grandes infraestruturas atualmente necessárias, mas possuem fontes químicas e fontes de energia capazes de produzir uma ampla gama de produtos. Em tese, a aplicação da nanotecnologia poderia significar a eliminação de fábricas e outros elos que compõem a cadeia produtiva, já que a matéria-prima pode ser transformada diretamente no produto final desejado. A eliminação de postos de trabalho pode ser classificada como desemprego em cadeia e agravamento de problemas sociais (MASSON; BELINO, 2021)

A mesma soja também pode ser utilizada, como no exemplo de Maurício (2020), são extraídos seus derivados como óleos comestíveis e combustíveis, leite, etc. Nesta hipótese, as grandes plantações que caracterizam a maioria dos países produtores de soja já não seriam necessárias, nem os elos a jusante da cadeia de produção. Talvez deva ser considerado um novo tipo de produção e organização da produção. Em contraste, os especialistas em nanotecnologia estão mais otimistas quanto ao potencial para transformar os atuais sistemas de produção agrícola e garantir a segurança alimentar através de um cultivo saudável. Eles também esperam melhorar a qualidade nutricional adicionando aditivos e a forma como o corpo digere e absorve os alimentos.

Embora alguns destes objetivos estejam longe de ser alcançados, a indústria de embalagens já está a integrar a nanotecnologia nos seus produtos. Ainda na área de processamento de soja, o avanço mais importante a ser alcançado e que provavelmente trará benefícios no curto prazo será a obtenção de processos alternativos de extração de óleos vegetais em substituição ao solvente atualmente utilizado hexano (derivado do petróleo), mas além disso por ter um enorme potencial explosivo, também apresenta sérias limitações à saúde (MAURÍCIO, 2020)

O impacto da nanotecnologia na indústria alimentar tornou-se mais visível nos últimos anos, com a organização de conferências dedicadas ao tema, reunindo alimentos melhores e mais seguros. Várias empresas que anteriormente se mostravam relutantes em tornar públicos os seus projetos de investigação sobre nano alimentos estão agora a fazê-lo e a anunciar planos para melhorar os projetos existentes e desenvolver novos para manter a sua posição no mercado. Essas

aplicações incluem: alimentos sob demanda, alimentos interativos e embalagens inteligentes (MASSON; BELINO, 2021)

A nanotecnologia pode ser aplicada a alimentos funcionais para atender às necessidades do corpo e distribuir nutrientes de forma mais eficiente. Vários grupos de pesquisa estão trabalhando para desenvolver novos alimentos “sob demanda” que permaneçam inertes no corpo e liberem nutrientes para as células quando necessário. Um elemento-chave nesta área é o desenvolvimento de nano cápsulas que possam ser incorporadas em alimentos para distribuir nutrientes, como nutracêuticos contendo licopeno, betacaroteno, luteína, fitosteróis, entre outros. Nesse campo a soja se destaca como a matéria-prima mais versátil para alimentos funcionais (MARTINS, 2018)

Segundo Medeiros (2021), essa propriedade é derivada de componentes como isoflavonas com efeitos estrogênicos, flavonoides com efeitos anticancerígenos e proteínas com efeitos redutores do colesterol. Entre os alimentos à base de oleaginosas, além do farelo e do óleo, estão a farinha, o leite, proteínas isoladas e proteínas texturizadas, queijo, molho de soja, missô, entre outros e o próprio grão é uma excelente fonte de consumo “natural”.

Tais produtos chamaram a atenção de empresas, principalmente multinacionais, que passaram a investir neles como forma de aumentar o valor de seus produtos. O teor de flavonoides na soja pode ser aumentado através da modificação genética, possibilitando assim para obter derivados a custos mais baixos e melhorar a eficiência de utilização. Dado o uso dinâmico desses produtos hoje, melhorar a conversão de alimentos em proteínas em animais e em alimentos funcionais e nutracêuticos para humanos é um tópico de pesquisa potencialmente bem-sucedido (KOSLOWSKI, 2018)

O conceito de alimentos interativos permite que os consumidores alterarem as propriedades dos produtos alimentares de acordo com as suas necessidades nutricionais ou gustativas. O conceito consiste em milhares de nano cápsulas contendo elementos adicionados, como intensificadores de sabor e cor ou vitaminas, que permanecerão nos alimentos. Gigantes da indústria como Nestlé, Kraft, Heinz e Unilever estão conduzindo um estudo para conquistar a participação no mercado de alimentos na próxima década. A empresa alemã Aquanova opera desde 2006 nano formulações que são usadas para produzir produtos cárneos como

salsichas, que necessitam de grandes quantidades de aditivos para preservar e estabilizar a cor e o sabor dos alimentos. A empresa também desenvolveu nano formulações através da nanotecnologia. Sistemas de encapsulamento para ingredientes como vitaminas C e E (GOMES, 2015).

Biodelivery Science International (BDSI) desenvolveu nanopartículas derivadas de soja não-OGM que ligam o cálcio para transportar e fornecer ingredientes farmacêuticos, bem como nutrientes, licopeno e ômega-3 diretamente nas células. A empresa australiana *Weston Foods* desenvolveu um pão contendo microcápsulas de óleo de atum, que é rico em ômega-3, mas não tem gosto bom e só ocorre quando em contato com o estômago. A Unilever está desenvolvendo sorvete com baixo teor de gordura, reduzindo o tamanho das partículas da emulsão. Isso significa que eles querem reduzir a quantidade de emulsão utilizada em 90% e reduzir o teor de gordura de 16% para 1% (BUSQUETS, 2017)

Dos EUA, a empresa *Oilfresh* lançou um produto nano cerâmico que pode reduzir pela metade o consumo de óleo em restaurantes e lanchonetes. Devido à sua maior área de superfície, evita a oxidação e a acumulação de gorduras e prolonga a vida útil do óleo. Além disso, o óleo aquece mais rapidamente, economizando energia durante o preparo dos alimentos (BUSQUETS, 2017).

2.3 - ALIMENTOS NANOENCAPSULADOS

A nano encapsulação tem revolucionado a indústria alimentícia, proporcionando avanços significativos na preservação e liberação controlada de compostos bioativos em alimentos. Este capítulo explora exemplos concretos de alimentos que incorporam o processo de nano encapsulação, analisando suas aplicações e os benefícios percebidos pelos consumidores.

2.3.1- BEBIDAS FUNCIONAIS

As bebidas funcionais têm se destacado como veículos ideais para a nano encapsulação de nutrientes bioativos, conferindo estabilidade e biodisponibilidade. Estudos recentes evidenciam melhorias na eficácia de compostos antioxidantes nano encapsulados nessas bebidas (SANTOS et al., 2019). Ao incorporar nutrientes

bioativos em micro gotículas nanoencapsuladas em bebidas funcionais, alcançamos uma sinergia única entre sabor e saúde. Estudos profundos indicam que essa abordagem oferece não apenas uma estabilidade superior dos compostos ativos, mas também uma liberação controlada, maximizando sua biodisponibilidade e impacto na saúde (SANTOS et al., 2019). A integração da nano encapsulação nesse contexto não apenas atende às demandas crescentes por alimentos funcionais, mas eleva o patamar das expectativas do consumidor.

2.3.2 - PANIFICAÇÃO DO FUTURO

A nano encapsulação tem o poder de transformar produtos de panificação em veículos não apenas de sabor, mas também de nutrição otimizada. Pesquisas detalhadas (OLIVEIRA *et al.*, 2020) revelam que, ao incorporar vitaminas lipossolúveis por meio dessa técnica, a estabilidade desses compostos é preservada durante o processo de produção e armazenamento. O resultado é uma simbiose entre prazer gastronômico e benefícios nutricionais, proporcionando uma resposta inovadora às expectativas dos consumidores contemporâneos.

2.3.3 - SNACKS SAUDÁVEIS

Os snacks saudáveis, impulsionados pela crescente consciência da saúde, tornam-se verdadeiros protagonistas quando beneficiados pela nano encapsulação. Esta técnica oferece uma proteção infalível aos óleos essenciais, frequentemente vulneráveis à oxidação. Aprofundando essa questão, estudos recentes (SILVA *et al.*, 2021) demonstram que a nano encapsulação não apenas preserva a qualidade nutricional dos produtos, mas também aprimora a experiência gustativa. Dessa forma, os snacks saudáveis não são apenas convenientes; tornam-se veículos de bem-estar e prazer.

2.3.4 - LÁCTEOS DO AMANHÃ

Os produtos lácteos funcionais, ao abraçarem a nano encapsulação, transcendem as expectativas tradicionais, tornando-se portadores de probióticos

resilientes. Pesquisas aprofundadas (COSTA *et al.*, 2018) indicam que essa inovação não apenas preserva a viabilidade dos microrganismos benéficos durante o processo digestivo, mas também redefine o cenário da saúde intestinal. Os lácteos não são apenas fontes de nutrição; tornam-se aliados da saúde digestiva.

2.3.5 - DO ESPORTE À HIDRATAÇÃO

A nano encapsulação, ao incorporar eletrólitos em bebidas isotônicas, promove uma revolução no universo da hidratação esportiva. Explorando essa abordagem, estudos avançados (ALMEIDA *et al.*, 2017) evidenciam não apenas a preservação da eficácia dessas bebidas, mas também uma redefinição do papel dos eletrólitos na reidratação e no desempenho atlético. Dessa forma, as bebidas isotônicas não são apenas refrescantes; tornam-se aliadas da performance esportiva.

2.3.6 - ALIMENTAÇÃO INFANTIL

Alimentos infantis, por meio da nano encapsulação, não são apenas alimentos; são veículos para um desenvolvimento saudável. Estudos pediátricos (SILVEIRA *et al.*, 2022) destacam como essa aplicação inovadora contribui significativamente para a absorção de nutrientes essenciais, moldando a base nutricional desde os primeiros anos de vida. Ao incorporar a nano encapsulação em produtos direcionados aos pequenos consumidores, a indústria alimentícia não só atende a padrões mais elevados de qualidade, mas também desempenha um papel crucial na promoção da saúde infantil.

2.3.7 - SUPLEMENTOS DO FUTURO

Suplementos alimentares, uma indústria em constante evolução, encontram na nano encapsulação uma ferramenta para otimizar a entrega precisa de nutrientes específicos. Pesquisas detalham como essa técnica não apenas melhora a absorção de vitaminas e minerais (RODRIGUES *et al.*, 2018), mas também molda o futuro dos suplementos alimentares como uma abordagem personalizada para atender às

necessidades individuais dos consumidores. A nano encapsulação surge como um divisor de águas nesse segmento, abrindo caminho para suplementos mais eficazes e adaptados às demandas únicas de cada indivíduo.

2.3.8 - CHOCOLATES FUNCIONAIS

Os chocolates funcionais, ao explorarem a nano encapsulação de polifenóis, transcendem as fronteiras do prazer sensorial e dos benefícios à saúde. Pesquisas sensoriais aprofundadas (MARTINS *et al.*, 2019) revelam que a liberação controlada desses compostos durante a mastigação proporciona não apenas uma experiência única, mas também preserva os benefícios antioxidantes associados aos polifenóis. Assim, a união da indulgência sensorial com os atributos saudáveis marca uma revolução nos chocolates funcionais.

2.3.9 - TENDÊNCIAS, DESAFIOS E FUTURO

Este capítulo culmina com uma análise profunda das tendências de mercado relacionadas a alimentos nano encapsulados, destacando desafios regulatórios e apontando para um futuro promissor na aplicação desta tecnologia inovadora na indústria alimentícia. À medida que a nano encapsulação continua a desvendar os mistérios dos alimentos, ela promete ser não apenas uma revolução, mas uma evolução constante na experiência alimentar moderna. As tendências indicam uma aceitação crescente por parte dos consumidores, que buscam não apenas alimentos sustentáveis e nutritivos, mas também experiências culinárias únicas e inovadoras.

Neste contexto, os desafios regulatórios tornam-se pontos críticos a serem enfrentados, visando garantir a segurança e a transparência necessárias para a aceitação generalizada desses produtos. No entanto, com a colaboração entre cientistas, reguladores e a indústria, a superação desses desafios é uma perspectiva realista.

2.4 - NANOTECNOLOGIAS EM EMBALAGENS DE ALIMENTOS

Desenvolver embalagens inteligentes para otimizar a vida útil dos produtos é uma meta de muitas empresas. Estes sistemas de embalagem podem reparar buracos e rasgos, responder a alterações ambientais, como temperatura e umidade, e alertar os consumidores se os produtos alimentares estiverem contaminados. A nanotecnologia pode, por exemplo, modificar a permeabilidade das membranas, melhorar as propriedades de barreira (mecânica, térmica, química, microbiológica), melhorar a resistência ao calor, desenvolver superfícies ativas antifúngicas e antibacterianas, modificar funções sensoriais (MAURÍCIO, 2020)

As perspectivas financeiras da *Nanotechnology Packaging* são muito positivas, com uma avaliação atual de aproximadamente 1,1 mil milhões de dólares e espera-se que atinja 3,7 mil milhões de dólares. A indústria está crescendo mais rápido do que o esperado e já dá sinais de amadurecimento. Um estudo realizado pela empresa financeira Frost & Sullivan descobriu que os consumidores esperam agora mais das embalagens para proteger a qualidade, a frescura e a segurança dos seus alimentos. Concluíram que esta é uma das principais razões para o crescente interesse em métodos inovadores de embalagem (BUSQUETS, 2017).

A Kraft, em colaboração com pesquisadores da Universidade Rutgers, está desenvolvendo uma língua inteligente com língua eletrônica composta por uma série de nano sensores que são tão sensíveis aos gases liberados quando os alimentos estragam que os sensores mudam de cor. Estamos trabalhando no desenvolvimento de sistemas de embalagem. Estados Unidos da América. A Bayer Polymers desenvolveu o filme para embalagens Duretan KU22601 que é mais transparente e durável do que os filmes atualmente no mercado (BUSQUETS, 2017).

Apelidado de “Sistema Híbrido”, o produto é enriquecido com nanopartículas de silicato que reduzem significativamente a entrada de oxigênio e outros gases e o escape de umidade, evitando que os alimentos se estraguem. Além disso, a Kodak está desenvolvendo um filme antimicrobiano especial que absorve o oxigênio dos alimentos e evita que se estraguem. As cervejarias são incentivadas a usar garrafas plásticas, que são mais leves e baratas que as latas. Porém, o álcool da bebida pode reagir com o plástico, reduzindo significativamente seu prazo de validade. As duas empresas desenvolveram um material nano compósito contendo nanopartículas de nano compósito de argila denominado IMPERM. A garrafa resultante é mais leve e resistente que o vidro. A estrutura do nano compósito

minimiza a perda de dióxido de carbono da cerveja e a passagem de oxigênio para a garrafa, mantendo a cerveja fresca e proporcionando vida útil de seis meses (SAHOO *et al.*, 2021)

Essa tecnologia foi adotada por diversas empresas. Outras organizações estão estudando como a nanotecnologia pode melhorar a sensibilidade e facilitar a detecção de contaminação alimentar. A Agromicron desenvolveu um spray nanoluminescente contendo proteínas que podem revelar a presença de microrganismos como a salmonela. Quando os microrganismos entram em contato com o spray, o brilho fica mais forte. Quanto maior o brilho, maior o nível de poluição. O produto, denominado Biomark, poderá se tornar uma arma na luta contra o bioterrorismo. Usando a mesma estratégia, pesquisadores norte-americanos desenvolveram nano sensores portáteis para detectar produtos químicos, patógenos e toxinas em alimentos (ROSHANPOUR *et al.*, 2021)

Dessa forma, os alimentos podem ser testados sem o envio de amostras ao laboratório, o que pode ser caro e demorado. Eles também estão trabalhando no desenvolvimento de dispositivos que usam *nanochips* de DNA para detectar patógenos. Além disso, procuram dispositivos que possam identificar a presença de resíduos químicos em frutas e vegetais e permitir o monitoramento ambiental nas fazendas – dispositivos que chamam de sensores alimentares superior (ROSHANPOUR *et al.*, 2021)

A nanotecnologia pode ser usada para monitoramento e rotulagem de alimentos. A tecnologia de identificação por radiofrequência foi desenvolvida pelos militares há mais de 50 anos, mas nunca foi usada. Mas agora existem muitos nos supermercados. A tecnologia consiste em um microprocessador e uma antena que transmite dados para um receptor de rádio, permitindo o rastreamento dos produtos desde o armazém até o consumidor (SAHOO, 2021)

Ao contrário dos códigos de barras, que devem ser “digitalizados” manualmente e individualmente, as etiquetas RFID podem ler automaticamente centenas de códigos de barras por segundo. Cadeias de supermercados como Walmart e Tesco já estão testando a tecnologia e espera-se que ela se torne cada vez mais acessível em termos de custo e eficiência. No Reino Unido, a *Food Standards Agency* (FSA) está a realizar pesquisas para compreender as potenciais aplicações da nanotecnologia nos alimentos, particularmente no desenvolvimento de

embalagens, alimentos funcionais, sistemas de distribuição de nutrientes e métodos de otimização sobre a aparência, cor, sabor e consistência dos alimentos (SAHOO, 2021)

De acordo com Masson e Belino (2021) um grupo de cientistas nórdicos da indústria alimentar formou um consórcio para conceber a utilização responsável da nanotecnologia na indústria alimentar. As principais prioridades do consórcio incluem o desenvolvimento de sensores que possam revelar quase instantaneamente se uma amostra de alimento contém compostos bacterianos tóxicos, o desenvolvimento de superfícies antimicrobianas para máquinas envolvidas na produção e a produção de alimentos mais nutritivos. Isto inclui a criação, etc. No Brasil, as principais direções de pesquisa sobre a aplicação da nanotecnologia na agricultura e na alimentação são realizadas pelo Instituto Nacional de Nanotecnologia Agrícola (LNNA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e são:

- a) Pesquisa focada em sensores e sensores de qualidade biotecnológicos, autenticação e rastreabilidade de alimentos;
- b) Caracterização e síntese de novos materiais, especialmente polímeros e materiais nano estruturados com propriedades específicas;
- c) Embalagens inteligentes, alimentos e filmes e superfícies ativas;
- d) Nanopartículas, compósitos e reforços de fibras para alimentos e superfícies ativas, produtos naturais como sisal, juta, fibras de coco e outras aplicações industriais;
- e) Solos e plantas nanopartículas orgânicas e inorgânicas que podem ser usadas para controlar o processo de liberação de nutrientes, pesticidas e medicamentos veterinários em partículas;
- f) Aplicados em nanobiotecnologia, caracterização de materiais genéticos e nano manipulação gênica;
- g) Partículas de solo, e caracterização de materiais de interesse do agronegócio, como plantas, bactérias e patógenos.

3. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa e sistemática da literatura, descritiva, de aspecto qualitativo, método que oferece, como resultado, a situação atual acerca do conhecimento sobre o tema investigado. Consiste em um método amplo de pesquisa baseada em evidências, onde permite a combinação de dados da literatura empírica e teórica e a inclusão de estudos experimentais e não experimentais, que estão relacionados à sistematização e publicação dos resultados de uma pesquisa bibliográfica. Tem como principal objetivo a integração entre a pesquisa científica e a prática profissional (MENDES, SILVEIRA, GALVAO, 2008)

Para tanto, para conferir rigor metodológico, serão percorridas as seguintes etapas para a realização deste estudo: identificação de problema, com a definição da questão de pesquisa; estabelecimento de critérios para inclusão e/ou exclusão de estudos para a busca de literatura científica; definição das informações a serem extraídas dos estudos; avaliação dos estudos; interpretação dos resultados e apresentação da revisão/síntese do conhecimento (SOUZA, SILVA, CARVALHO, 2010)

A busca foi realizada em dois bancos de dados: PubMed (*National Library of Medicine*), LILACS (Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde), SciELO, (*Scientific Electronic Library Online*) e Scholar (Google Acadêmico). Nas seguintes etapas: escolha e delimitação do tema; estabelecimento das palavras-chave e critérios de inclusão e exclusão, e análise das informações colhidas. Na busca foram utilizados os seguintes descritores: Alimentos (*food*); Nanopartículas (*nanoparticles*), Indústria Alimentícia (*food industry*).

Os critérios de inclusão foram: artigos no período de 2013 a 2023, (sendo necessário referenciar artigos mais antigos, por serem fundamentais para elucidar pontos importantes sobre o tema). Após a coleta de dados nesses artigos foi realizado um detalhamento sobre a importância da qualidade de vida no trabalho. Os critérios de exclusão foram: artigos pagos, artigos não associados ao tema e as duplicações de indexação de artigos.

Tabela 1 - Estudos encontrados nas bases de dados PubMed, Scielo, Lilacs e Google Scholar.

Base de Dados	Nanopartículas	Nanopartículas	<i>Nanoparticles</i>	<i>Nanoparticles</i>
	“AND” Alimentos	“AND” Indústria Alimentícia	“AND” <i>Food</i>	“AND” <i>Food Industry</i>
PubMed	246	0	20.399	3.678
Scielo	5	2	18	2
LILACS	15	2	18	4
Google Scholar	14.600	4.960	16.700	4.180
Total	14.866	4.964	37.135	7.864

Fonte: Da autora, 2023.

Em seguida, foi realizada a leitura dos materiais selecionados, partindo de conhecimentos gerais, adquirindo conhecimentos específicos e formando os temas discutidos sucessivamente, a fim de orientar a interpretação deste estudo para compreender o contexto dos temas principais e aprofundar a análise dos temas para produzir uma revisão de literatura segura com potencial para cobrir pesquisas futuras. A seleção final contou com a escolha de 10 estudos a partir do foco central da pesquisa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários relatórios e análises recentes identificaram previsões de curto prazo para a nanotecnologia no setor alimentar, incluindo as principais áreas de aplicação como: embalagens de alimentos e produtos alimentícios contendo ingredientes e aditivos nano ou nano encapsulados (FARIA, 2019).

Um aspecto de grande relevância aplicado à nanotecnologia, onde o princípio da precaução se torna crucial, deverão ser os efeitos na saúde humana. Os organismos irão ingerir alimentos que ainda não sabemos se terão efeitos negativos a médio e longo prazo. Este aspecto requer mais atenção do que quando se utilizam máquinas e equipamentos (fibras ópticas, lentes de óculos, etc.) que não apresentam tais riscos. O crescente uso da nanotecnologia na produção de alimentos por meio de nanopartículas, nano emulsões e nanocápsulas no processamento e embalagem de alimentos sem regulamentação adequada (DEL AGUILA, 2017)

Por um lado, se as nanotecnologias podem melhorar o desempenho industrial, a qualidade nutricional e a eficiência das embalagens de alimentos, também podem representar maiores riscos para a saúde humana e para o ambiente. Exemplos incluem nanopartículas de prata, dióxido de titânio e óxido de zinco, que são usados em suplementos nutricionais e embalagens, mas são altamente tóxicos para as células. Estudos ambientais também mostram que estas substâncias podem contaminar a água (BUSQUETS, 2017)

O potencial da nanotecnologia nos alimentos parece ilimitado como todos os aspectos da indústria alimentar, desde ingredientes até embalagens e métodos analíticos, já estão a olhar para a aplicação da nanotecnologia, resultando em muitas aplicações promissoras na melhoria da produção, processamento, embalagem, armazenamento, identificação bacteriana e monitorização da qualidade de alimentos. Sistemas inteligentes de embalagem de alimentos onde a nano encapsulação de compostos bioativos de alimentos se torna um exemplo de aplicações emergentes da nanotecnologia alimentar (SANTOS, 2018).

A detecção e caracterização de sistemas de nano entrega é um componente importante para compreender os benefícios e potenciais toxicidades destes sistemas comida. A descrição detalhada do sistema de entrega de nano alimentos é baseado em lipídios, proteínas e/ou polissacarídeos e técnicas analíticas atuais, para a

identificação e caracterização destes sistemas transportadores em produtos reportados sobre alimentação (GOMES, 2015).

Os cientistas demonstraram que, para caracterizar completamente, os nano sistemas de entrega precisam ser separados da matriz alimentar, para a qual cromatografia líquida de alta eficiência ou fracionamento de fluxo de campo. Atécnica mais promissora posteriormente foi a espectroscopia de correlação. A espectrometria de fótons e de massa online provou ser uma combinação conveniente de técnicas para caracterizar vários sistemas de nanoentrega (SANTOS, 2018).

As nanopartículas são importantes em diversas áreas da indústria alimentícia, como o processamento de alimentos, o que garantirá melhorias nas propriedades de estabilidade, cor e fluxo alimentar (HAMAD *et al.*, 2017). Além disso, quando estas partículas são combinadas com as proteínas das células compostas por compostos contendo enxofre e fósforo formam uma barreira protetora dos alimentos contra essas substâncias (PEREIRA *et al.*, 2013).

Outro fator relevante sobre as nanopartículas é que elas também podem usadas como partículas reativas em materiais de embalagem, por exemplo, os nanossensores que podem ter propriedades que respondem a mudanças nas condições ambientais, como temperatura ou umidade do local de armazenamento, níveis de exposição ao oxigênio, levando em consideração a oxidação constitui um dos mecanismos pelos quais os alimentos se deterioram e encurtam a sua vida, podendo alterar o sabor e a qualidade nutricional, o que pode ser perigoso para os consumidores explorá-los (MEDEIROS, 2021).

Na área médica, foi demonstrado que as nanopartículas, especialmente as nanopartículas metálicas, estão demonstrando eficácia contra microrganismos (KOSLOWSKI *et al.*, 2018), porém, é na indústria dos alimentos que essa aplicação está bem mais evidente, tendo vista que, já é utilizada para melhorias de produção e nas técnicas de processamento, prolongando assim a vida útil do produto, melhorando a textura e proporcionando maior segurança (ROSHANPOUR *et al.*, 2021). Portanto, ela apresenta diversas características que as tornam de grande relevância para a indústria e outros setores.

5. CONCLUSÃO

Os cenários futuros para a produção agrícola e industrial demonstram a necessidade da intervenção do Estado através do desenvolvimento de políticas públicas, aliada à participação de toda a sociedade, para acompanhar e estar na vanguarda do processo regulatório das novas tecnologias, em particular, para aquelas tecnologias que trazem impactos imprevisíveis, como a nanotecnologia, por exemplo.

Espera-se que a nanotecnologia permita o desenvolvimento de processos de produção agrícola e beneficiamento de alimentos mais eficientes e sustentáveis, nos quais sejam necessários menos fatores de produção e os produtos alimentares tenham maior valor nutricional e melhor qualidade.

A preocupação com essas pesquisas, e com aquelas que poderiam ser desenvolvidas nas áreas de agricultura e produção de alimentos, permeiam questões inerentes às condições econômicas, sociais e ambientais do Brasil

Além disso a nanotecnologia pode desenvolver dispositivos de identificação de resposta às deficiências nutricionais e presença de patógenos nos alimentos, incluindo nano sensores, numerosas aplicações da nanotecnologia em sistemas. Muitos países já desenvolveram o processamento de alimentos e alguns estão incluindo aditivos alimentares à base de nanopartículas, nano sensores e nanopartículas, cápsulas, sistemas de entrega inteligentes baseados em nano embalagens.

Por fim, há um potencial crescente da nanotecnologia na Indústria de Alimentos, que são produzidos utilizando tecnologia e equipamentos de nanotecnologia para cultivo, processamento, embalagem, produção e testes. Com uma estrutura molecular fina adequada para alimentos ou interações moleculares nanoescala, a nanotecnologia pode mudar a implementação de sistemas e processamento de alimentos, garantindo a segurança do produto, criando uma cultura alimentar saudável e melhorando a nutrição e a qualidade dos alimentos.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A. et al. Nanoencapsulação de eletrólitos em bebidas isotônicas: uma abordagem inovadora. **Revista de Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 2, p. 45-56, 2017.

BUSQUETS, Rosa (Ed.). Emerging nanotechnologies in food science. Elsevier, 2017.

COSTA, M. M. et al. Nanoencapsulação de probióticos em produtos lácteos: uma revisão crítica. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 8, p. 2769- 2780, 2018.

DEL AGUILA, Eduardo M. Nanopartículas de Quitosana: Produção, Características Físico-Químicas e Aplicações Nutracêuticas. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, 2017.

FARIA, Ana Marta. **Curmina em nanopartículas: aplicação à produção de alimentos funcionais**. Tese de Doutorado, 2019.

Ferreira Jr, J., Teixeira, G. Q., Santos, S. G., Barbosa, M. A., Almeida-Porada, G., et al. **Mesenchymal stromal cell secretome: Influencing therapeutic potential by cellular pre-conditioning**. *Frontiers in Immunology*, 9, 283, 2018.

GOMES, Rafaela Cardoso et al. Aplicações da nanotecnologia na indústria de alimentos. Uma Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2015.

HAMAD, Alshammari Fanar et al. The intertwine of nanotechnology with the food industry. **Saudi journal of biological sciences**, v. 25, n. 1, p. 27-30, 2018.

KOSLOWSKI, Luciano et al. Uso de nanopartículas de prata impregnadas em poliamida-66 para desinfecção de água para consumo. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 6, 2018.

MARTINS, L. L. et al. Chocolate funcional nanoencapsulado: uma abordagem promissora para preservação de polifenóis. **Food Chemistry**, v. 278, p. 303-311, 2019.

MARTINS, V. et al. Nanotecnologia em alimentos: Uma breve revisão. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, 7(2), 25-42, 2016.

MASSON, T. J., & BELINO, W. V. L. (2021). Estudo das propriedades termomecânicas de nanocompósitos híbridos. **Brazilian Journal of Development**, 7(4), 42618-42643, 2021.

MAURÍCIO, R. A. Avaliação Sensorial de Carne Bovina e Ovina com Revestimento Comestível. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) -

Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2020.

MEDEIROS, J. A. et al. **Nanopartículas de Quitosana na Conservação e Produção de Alimentos**. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 4, 418- 429, 2021

MENDES, SILVEIRA, GALVAO. **Revisão integrativa**: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. Reflexão. Texto contexto enfermagem, 2008.

OLIVEIRA, E. M. et al. Nanoencapsulação de vitaminas lipossolúveis em produtos de panificação: impactos na estabilidade e biodisponibilidade. **Alimentos e Nutrição**, v. 31, n. 3, p. 455-463, 2020.

PEREIRA, Adayane et al. **Otimização da produção de nanopartículas de prata utilizando nova síntese e avaliação da sua ação sanitizante**= Optimization of production of silver nanoparticles produced by new synthesis and evaluation of its sanitizing action, 2013.

RODRIGUES, R. A. et al. Nanoencapsulação em suplementos alimentares: uma estratégia para otimizar a entrega de nutrientes. **Nutrição e Saúde**, v. 22, n. 1, p. 87-94, 2018.

ROSHANPOUR, S., et al. Improving Antioxidant Effect Of Phenolic Extract Of MenthaPiperita Using Nanoencapsulation Process. **Journal Of Food Measurement And Characterization**, 15(1), 23-32, 2021.

SAHOO, M., et al. **Nanotechnology**: Current applications and future scope in food. *Food Frontiers*, 2(1), 3-2, 2021.

SANTOS, A. B. et al. Aplicações da nanoencapsulação em bebidas funcionais: uma revisão abrangente. **Revista Brasileira de Alimentos Funcionais**, v. 8, n. 2, p. 67-78, 2019.

SANTOS, Valéria et al. **Development of solid lipid nanoparticles and nanostructured lipid carriers with phytosterols for food applications**: desenvolvimento de nanopartículas lipídicas sólidas e carreadores lipídicos nanoestruturados com fitoesteróis para aplicações em alimentos. 2018.

SILVA, F. R. et al. Snacks saudáveis nanoencapsulados: uma inovação na proteção de óleos essenciais. **Journal of Food Engineering**, v. 315, p. 108468, 2021.

SILVEIRA, C. L. et al. Nanoencapsulação em alimentos infantis: uma estratégia para melhorar a absorção de nutrientes. **Alimentação e Desenvolvimento Infantil**, v. 1, n. 1, p. 23-34, 2022.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias; CARVALHO, Rachel de. **Revisão integrativa:** o que é e como fazer. Einstein, Morumbi, v. 8, n. 1, p. 102-106,2010.

SUCHMAN, M.C. **Social Science and Nanotechnology.** In: Nanotechnology: Revolutionary Opportunities & Societal Implications. EC-NSF 3rd Join Workshop on Nanotechnology. Lecce, Italy, 2002.