



MAPA DO CONHECIMENTO EM NANOTECNOLOGIA NO SETOR AGROALIMENTAR

SIBELLY RESCH

Doutoranda em Administração pelo Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Municipal de São Caetano do Sul (USCS).

Professora e coordenadora do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Pública da Universidade Metodista de São Paulo (Umesp).

Avenida Senador Vergueiro, 1.301, Jardim do Mar, São Bernardo do Campo – SP – Brasil – CEP 09750-001

E-mail: sibellyresch@yahoo.com.br

MILTON CARLOS FARINA

Doutor em Administração pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA-USP).

Professor do Curso de Pós-Graduação Stricto Sensu em Administração da Universidade Municipal de São Caetano do Sul (USCS).

Rua Santo Antonio, 50, Centro, São Caetano do Sul – SP – Brasil – CEP 09521-160

E-mail: milton.farina@uscs.edu.br

RESUMO

A nanotecnologia é considerada por muitos autores como a base para a próxima revolução industrial. O prefixo “nano” equivale a 10^{-9} m. A manipulação na escala nanométrica pode modificar propriedades como cor, condutividade, reatividade, ponto de fusão, entre outras, criando novas aplicações para os materiais. É considerada uma ciência multidisciplinar com aplicações em distintos setores, tais como física, química, biologia, materiais, informação, entre outros. No Brasil, implantaram-se as políticas de apoio às nanotecnologias em 2001, e, a partir de 2007, a nanotecnologia foi identificada como área estratégica para o governo brasileiro por seu potencial de inovação, crescimento de mercado e benefícios associados à sua utilização. O setor agroalimentar, objeto deste estudo, é uma das áreas que podem se beneficiar com a utilização das nanotecnologias. Considerando a importância do setor para a economia brasileira, este trabalho tem como objetivo identificar e descrever as pesquisas que envolvem a nanotecnologia no setor agroalimentar. Para isso, realizou-se uma aplicação com o *software* VOSviewer a partir de trabalhos publicados na base Scopus. Para identificar como as pesquisas evoluíram ao longo do tempo, dividiu-se a busca em três períodos: 2001-2005, 2006-2009 e 2010-2013. Os resultados apontam quatro tendências: 1. uso dos biossensores, especialmente para detecção de contaminação; 2. utilização de embalagens ativas, biodegradáveis e indicadoras de deterioração ou contaminação; 3. encapsulamento para entrega de nutrientes; e 4. riscos e benefícios, marcos regulatórios. Os resultados podem subsidiar a elaboração de políticas de apoio e fomento à nanotecnologia para o setor agroalimentar e sugerir temas de pesquisa para identificação do estágio atual dessas tecnologias no Brasil. A prospecção realizada também contribui para a identificação de oportunidades de negócios para os empresários brasileiros.

PALAVRAS-CHAVE

Nanotecnologia. Alimentos. Agricultura. Agroalimentar. VOSviewer.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior exportador de produtos agrícolas e um dos mais importantes produtores mundiais de alimentos (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação [MCT], 2010). Entretanto, o cenário mundial previsto requer atenção por parte da sociedade brasileira. A escassez de terras e água, o aumento populacional, o aumento de consumo decorrente da elevação do nível de renda, a queda de produtividade de alguns cultivos em países desenvolvidos e a necessidade de uso de energia limpa são alguns dos fatores que pressionam o sistema agroalimentar (Rodrigues, Santana, Barbosa & Pena, 2012).

As inovações tecnológicas podem influenciar nesse cenário. “A agricultura é elemento estratégico nas políticas econômicas, ambientais e de segurança alimentar”, ressalta o MCT (2010, p. 43). O país precisa elevar a produtividade e a agregação de valor aos produtos de origem agrícola. Para tanto, são necessários avanços na capacidade de gerar e difundir o uso de conhecimentos científicos, tecnológicos e de inovações em todo o complexo industrial.

Entre as novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas para o setor agroalimentar está a nanotecnologia. Um nanômetro equivale a 10^{-9} m, ou seja, um bilionésimo do metro. Por trabalhar com escalas muito pequenas, novas propriedades e funções podem ser criadas, gerando inovações em diversas áreas do conhecimento (Klochikhin & Shapira, 2012). O uso da nanotecnologia em distintas ciências tem sido considerado a base para a próxima revolução industrial (MCTI, 2010). Segundo estimativas de Renn e Roco (2006), a partir de 2020, a nanotecnologia deverá ser utilizada em sistemas nanomoleculares que criarão novas funções para os materiais, atingindo o mercado de massa.

Tal como em outros países do mundo, a nanotecnologia foi inserida no Brasil como objeto de política pública em 2001. Entretanto, conforme ressalta Peixoto (2013, p. 335), o país “não tem sido capaz de desenhar uma estrutura de política produtiva e inovativa capaz de aproveitar as janelas de oportunidade e promover o desenvolvimento da nanotecnologia de forma consistente e continuada”. O Brasil, tal como os demais países estudados na América Latina por Kay e Shapira (2009), apesar de implementar políticas e programas para desenvolver a nanotecnologia, tem uma participação modesta na indústria e um baixo nível de comercialização de produtos com nanomaterial.

Novas iniciativas, como a Rede Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNano), têm surgido no Brasil. Por meio dessa e de outras ações, observa-se que o país vem aprimorando seu Sistema Nacional de Inovação. No entanto, entende-se que é necessário focalizar as políticas públicas em áreas prioritárias, como o setor agroalimentar.

Cozzens, Cortes, Soumonni e Woodson (2013) identificaram uma concentração de pesquisas em nanotecnologia e alimentos no Hemisfério Norte, indicando o problema do domínio tecnológico nessa área. A assimetria de informações em relação às novas tecnologias pode ameaçar os países em desenvolvimento, já que se trata de uma matriz importante nessas economias. Por isso, esses autores ressaltam que os formuladores de políticas devem esforçar-se para estimular a pesquisa no setor agroalimentar.

Dadas as possibilidades de inovações disruptivas a partir do uso das nanotecnologias e uma possível revolução no mercado, é fundamental para a área da Ciência Social Aplicada da Administração conhecer esse mapa da ciência que traz a perspectiva multi e interdisciplinar do uso das nanotecnologias no setor agroalimentar. O conhecimento do estado da arte poderá contribuir para a criação de linhas específicas de financiamento e fomento à inovação para esse setor.

Assim, o objetivo do presente trabalho é identificar e descrever as pesquisas que envolvem a nanotecnologia no setor agroalimentar. Para tanto, realizou-se uma aplicação do *software* VOSviewer¹ (versão 1.5.6.0) utilizando a base de dados Scopus para levantamento de trabalhos publicados com as palavras-chave nanotecnologia e alimentos. O *software* criou mapas que apresentam as tendências das pesquisas em três períodos – de 2001 a 2005, de 2006 a 2009 e de 2010 a 2013. O recorte temporal em período de quatro anos possibilita conhecer a trajetória dos estudos nessa área, contribuindo para identificar a evolução do conhecimento.

2 NANOTECNOLOGIA

Vislumbra-se que a nanotecnologia faz parte de um conjunto de tecnologias que conformarão a próxima revolução tecnológica (Renn & Roco, 2006; MCT, 2010; Gordon, 2010; Peixoto, 2013).

O principal diferencial na escala nanométrica é a potencialização das propriedades físicas e químicas, resultante de uma área superficial elevada, maior grau de dispersão e funcionalidades, características relacionadas com o tamanho da estrutura e que possibilitam o uso em concentrações extremamente reduzidas (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial [ABDI], 2010).

A manipulação na escala nanométrica pode modificar propriedades como cor, condutividade, reatividade, ponto de fusão, entre outras.

¹ Recuperado em 15 maio, 2014, de <http://www.vosviewer.com>.

As inovações advindas da nanociência costumam ser comercializadas à medida que o controle sobre a construção de átomos e das moléculas melhora. Da mesma forma que os computadores analisam e distribuem dados num formato binário (0,1), a nanotecnologia trata da construção de novos materiais (orgânicos e inorgânicos) ao tratar átomos e moléculas como blocos de construção (Peixoto, 2013, p. 67).

A nanotecnologia está presente na natureza. Nesse processo, a inovação é a manipulação das nanoestruturas pelo homem. Em 1959, Richard Feynman proferiu a palestra “There is plenty of room at the bottom”, em que sugeriu que o próximo grande avanço científico poderia vir da manipulação de átomos e moléculas, possibilitando a criação de materiais com atributos únicos (Klochikhin, 2013).

Entretanto, para realizar tal feito, era necessário um equipamento que permitisse a visualização das imagens na escala nanométrica. Isso ocorreu somente em 1982 com a criação do microscópio de varredura de tunelamento eletrônico pela IBM, e, a partir desse microscópio, foi desenvolvido o microscópio de microsondas eletrônicas de varredura em 1986, o que possibilitou a manipulação de átomos e moléculas.

A nanociência prolifera por distintas disciplinas: física, química, biologia, materiais, informação, entre outras. Trata-se de uma tecnologia inter e multidisciplinar, pois distintos campos contribuem para o desenvolvimento de uma nanotecnologia. Suas aplicações permeiam distintos setores: energia, transportes, medicina, têxtil, comunicações, alimentos, agricultura, entre outras (ABDI, 2010).

A União Europeia (2011) considera que é necessário determinar a distribuição número-tamanho, pois os nanomateriais são constituídos, em geral, por partículas presentes em diferentes tamanhos e com diferentes distribuições. Assim, compreende como nanomaterial

Um material natural, incidental ou fabricado que contém partículas num estado desagregado ou na forma de um agregado ou de um aglomerado, e em cuja distribuição número-tamanho 50% ou mais das partículas têm uma ou mais dimensões externas na gama de tamanhos compreendidos entre 1 nm e 100 nm (União Europeia, 2011).

Em recente pesquisa realizada pela BCC Research (2014), o mercado global de produtos nanotecnológicos foi avaliado em U\$ 22.900 bilhões em 2013, aumentando para cerca de U\$ 26 bilhões em 2014. Estima-se que o mercado de produtos nanotecnológicos alcance U\$ 64,2 bilhões em 2019, com taxa de crescimento de 19,8% a.a. a partir de 2014 (BCC Research, 2014).

A manipulação de átomos e moléculas pode ser considerada recente. Porém, há um grande potencial de crescimento de mercado para produtos que incorporem a nanotecnologia ou que sejam criados a partir dela. Peixoto (2013) ressalta a importância de compreender as diferentes trajetórias nanotecnológicas nos distintos setores. Neste trabalho, o foco é o setor agroalimentar. Portanto, a seguir, apresenta-se uma breve discussão sobre a nanotecnologia nesse setor.

2.1 NANOTECNOLOGIA E ALIMENTOS

A nanotecnologia é um dos *drivers* de mudança para o setor agroalimentar (Rodrigues *et al.*, 2012). Num estudo recente, Sekhon (2014) argumenta que a nanotecnologia é uma das ferramentas mais importantes para o setor agroalimentar porque pode contribuir para a melhoria da produtividade dos alimentos. Entre as aplicações, o autor destaca:

- nanoformulações de agrotóxicos para a aplicação de pesticidas e fertilizantes, com o propósito de melhorar a cultura;
- aplicação de nanossensores/nanobiossensores para a identificação de doenças e resíduos de agrotóxicos;
- nanodispositivos para a manipulação genética das plantas;
- diagnóstico de doenças de plantas;
- saúde animal, criação de animais, produção de aves;
- gestão pós-colheita.

Há uma expectativa de que o uso dessas tecnologias possa contribuir para melhorar o rendimento das culturas, sem danificar o solo e a água, e reduzir a perda de nitrogênio provocada por lixiviação e emissões. Outros benefícios estão relacionados ao desenvolvimento de espécies resistentes aos insetos e ao processamento e armazenamento com aumento de vida útil do alimento por meio da utilização de embalagens inteligentes (Sekhon, 2014).

Hewett (2013) explica que as perdas de alimentos entre o produtor e o consumidor final giram em torno de 1,3 bilhão de toneladas por ano. O autor afirma que muitos estudos têm sido feitos para o processo de pós-colheita. Entretanto, é importante pesquisar a base genética das plantas para garantir melhor produtividade, precocidade, tamanho, resistência a pragas e doenças, e nutrientes de qualidade.

Para Moraru *et al.* (2003 como citado em Assis, Zavareze, Prentice-Hernández, & Souza-Soares, 2012, p. 101), “as maiores áreas da indústria de alimentos beneficiadas com a nanotecnologia são desenvolvimento de novos materiais

funcionais, processamento em micro e nanoescala, desenvolvimento de novos produtos e nanossensores para a segurança alimentar”.

Assis *et al.* (2012) ressaltam que a aplicação da nanotecnologia em alimentos é relativamente nova quando comparada a outras áreas, como biomédica e tecnologia de informação. Para exemplificar, uma pesquisa realizada na base de dados Scielo com as palavras-chave nanotecnologia e alimentos resultou neste trabalho como único nessa base, com a aplicação desses termos.

Nessa revisão da literatura, Assis *et al.* (2012, p. 99) apresentam algumas aplicações da nanotecnologia em alimentos:

Nanopartículas lipídicas sólidas são sistemas de transporte coloidal empregados para encapsular, proteger e entregar componentes funcionais. Nanoemulsão consiste em uma dispersão muito fina composta por uma fase de óleo e uma fase aquosa, com tamanho de gota, em escala nanométrica; em função do seu tamanho característico, as nanoemulsões são transparentes ou translúcidas, e possuem estabilidade contra a sedimentação. Nanocápsulas são compostas por um invólucro polimérico disposto ao redor de um núcleo, no qual se encontra o composto ativo, conferindo proteção contra o oxigênio, a água e/ou a luz; permitem, dessa forma, uma liberação controlada da substância e/ou previnem o contato com outros componentes em uma mistura. Em nanotecnologia de embalagens, aborda-se a utilização de nanopartículas, tais como nanofibras de celulose e nanoargila, bem como a aplicação de nanomateriais com propriedades nutricionais e/ou antimicrobianas, e nanossensores.

A busca por trabalhos publicados no Brasil foi realizada também no Portal Capes. Utilizando os termos “nanotecnologia” e “alimentos” em todos os índices, obteve-se o resultado de 26 artigos revisados por pares, disponíveis a partir dessa base de dados. A análise dos trabalhos publicados indica que somente dois trabalhos foram publicados com esse foco: Assis *et al.* (2012) e García, Forbe e Gonzalez (2010). García *et al.* (2010) abordam, além das funcionalidades apresentadas por Assis *et al.* (2012), aspectos relacionados à utilização de nanotubos de carbono para fins biológicos.

Trata-se, portanto, de um tema de pesquisa pouco explorado no Brasil. Desse modo, reitera-se a importância da realização deste estudo exploratório. Em razão da proposta desta pesquisa, na seção em que se apresentam os resultados, retoma-se o levantamento bibliográfico a partir das palavras-chave identificadas no estudo, e a discussão é realizada, prioritariamente, a partir de estudos internacionais. Na próxima seção, relatam-se os procedimentos metodológicos adotados neste estudo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O VOSviewer é um programa criado por Eck e Waltman (2010), disponível gratuitamente, que possibilita a criação de mapas por meio da técnica de mapeamento e agrupamento. O *software* destina-se principalmente à análise bibliométrica de grandes volumes de dados, e, diferentemente de outros programas, a ênfase se dá na representação gráfica do mapa. Ele pode, por exemplo, ser usado para criar mapas de publicações, autores ou revistas com base em uma citação, cocitação ou rede de acoplamento bibliográfico. É possível criar mapas de palavras que formam um determinado campo, com base em uma rede de coocorrência a partir dos títulos e resumos, que é a proposta deste estudo. Assim, destaca-se que o VOSviewer tem amplas funcionalidades (Waaiker, Bochove, & Eck, 2011; Noyons, 2012; Rafols, Leydesdorff, O'Hare, Nightingale, & Stirling, 2012; Barth, Haustein, & Scheidt, 2014; Gobster, 2014; Leydesdorff, Rafols, & Chen, 2013; Rafols *et al.*, 2014; Arora, Youtie, Carley, Porter, & Shapira, 2014).

Para fins deste estudo, que se caracteriza como prospecção tecnológica, desenvolveu-se uma aplicação do uso do *software* baseada na análise dos corpos dos textos (resumos) e dos títulos dos trabalhos. O *software* desenvolve um processo de clusterização por meio da implementação de um algoritmo de mapeamento – VOS – que busca minimizar a distância euclidiana entre elementos semelhantes.

A similaridade é definida como a força de associação das coocorrências ponderadas pela quantidade de vezes em que a palavra aparece. Depois de calculados os escores para cada coocorrência, são selecionados os termos mais relevantes. No caso de palavras similares (por exemplo, livraria e livrarias), é selecionada somente a palavra de maior escore em termos de relevância (Eck & Waltman, 2010).

Para identificar as tendências de pesquisa no setor agroalimentar realizou-se uma busca na base de dados Scopus que atualmente é composta por 2.917 revistas das diferentes áreas do conhecimento. A opção pela utilização dessa base ocorreu por duas razões: 1. disponibilização dos resumos, além dos títulos e das palavras-chave; e 2. número de artigos publicados, superior ao que foi localizado na base Web of Science.

Na busca, utilizaram-se as palavras-chave *food* e *nanotechnology*, ambas no *abstract*. Para identificar como as pesquisas evoluíram ao longo do tempo, dividiu-se a busca em três períodos: 2001-2005, 2006-2009 e 2010-2013. Realizou-se também uma restrição para a busca somente em artigos.

Os resultados da busca (281 artigos) foram exportados em formato .ris, para cada período pesquisado. Delimitou-se a exportação por título, palavras-chave e resumo, para o processo de análise posterior. A preparação da base de dados

foi realizada no *software* Bibexcel² que transforma o arquivo .ris em arquivo .doc para inserção no VOSviewer.

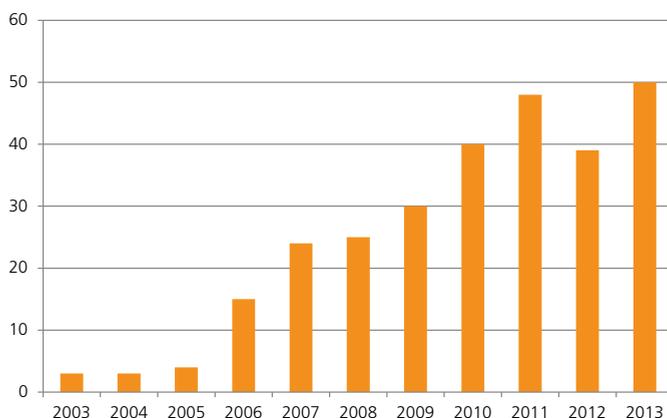
O processo de análise no VOSviewer demanda a escolha dos parâmetros de corte. No período de 2001-2005, como o número de artigos era baixo (o programa detectou 432 termos), optou-se pela seleção de termos com no mínimo três ocorrências, resultando em 21 termos. Após o cálculo do escore, selecionaram-se os termos mais relevantes para a pesquisa. No período de 2006-2009, foram detectados 3.555 termos, e optou-se por cinco ocorrências para o corte, procedimento que resultou em 140 palavras, das quais 74 com escore relevante. No período de 2010-2013, o número de artigos publicados foi maior, resultando em 6.451 termos localizados. Optou-se pelo corte na frequência 7 e obtiveram-se 224 palavras, das quais 134 com escore relevante calculado. Os resultados serão apresentados na próxima seção.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados da pesquisa na base de dados Scopus demonstram que o número de publicações em nanotecnologia e alimentos elevou-se a partir de 2006, totalizando 281 artigos publicados com as palavras-chave *nanotechnology* e *food* no resumo, conforme se observa no Gráfico 1.

GRÁFICO 1

NÚMERO DE PUBLICAÇÕES/ANO



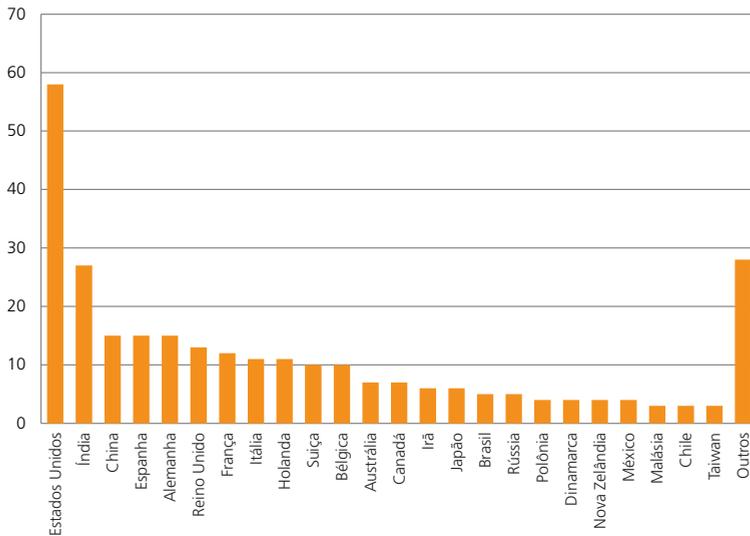
Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos resultados obtidos na base Scopus.

² Recuperado em 6 maio, 2014 de <http://www.umu.se/inforsk/Bibexcel>.

Em relação à distribuição das publicações por país, nota-se, no Gráfico 2, que os Estados Unidos lideram as publicações sobre nanotecnologia e alimentos. A Índia também apresenta expressiva produtividade nessa área, comparativamente a outros países. A China também se destaca nesse cenário com vários países europeus. A publicação brasileira foi de cinco artigos nesse período, considerando os termos de busca. Assim, o Brasil configura-se como representante da América Latina, com o Chile, nas pesquisas sobre nanotecnologia e alimentos.

GRÁFICO 2

PUBLICAÇÃO POR PAÍSES



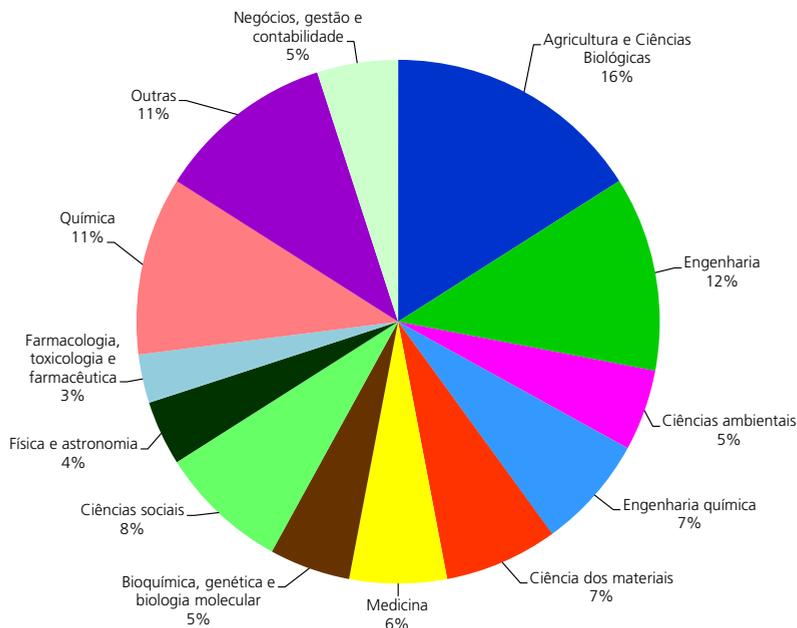
Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos resultados obtidos na base Scopus.

Quanto à classificação dos artigos por áreas, a maioria foi publicada nas áreas agrícola e de ciências biológicas, seguidas pela engenharia e química, conforme se observa no Gráfico 3.

No período de 2001 a 2005, identifica-se, no Gráfico 3, que o foco dos trabalhos publicados era a produção de biopolímeros por meio do ácido polilático. Esse ácido é um polímero sintético do ácido lático produzido por bactérias que transformam melaço, açúcar de beterraba, soro de leite ou outros compostos açucarados em plástico por meio de processos químicos. Trata-se de um mercado promissor para o Brasil, que atualmente produz 270 milhões de toneladas de plástico derivado do petróleo. Estima-se que, até 2015, a produção será de um milhão de toneladas de bioplástico, que se decompõe em até 180 dias contra 40 anos dos derivados de petróleo (Sociedade Nacional de Agricultura, 2012).

GRÁFICO 3

ARTIGOS POR ÁREA



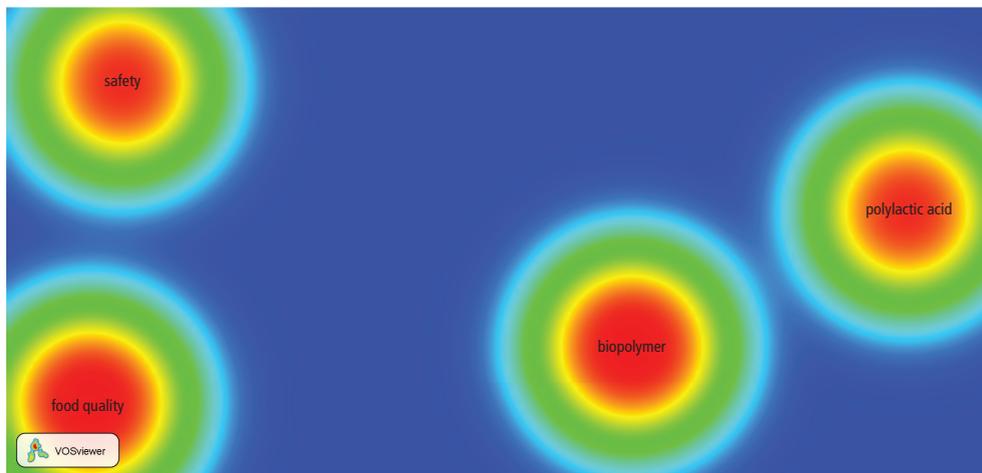
Fonte: Elaborado pelos autores com base na Scopus.

Outro termo de destaque foi a qualidade dos alimentos (Figura 1) que se conecta à segurança. Percebe-se que, com o início das pesquisas sobre novos materiais para embalagem, também começou a se considerar o potencial desses novos materiais para garantir a qualidade dos alimentos. A partir de diferente perspectiva, é necessário avaliar a segurança dos materiais que contêm nanopartículas. Como sugerem Lagaron *et al.* (2005), é imperativo estudar a migração dos nanocompósitos no organismo, caso sejam absorvidos pelo contato com os alimentos, e também o seu ciclo de vida, para avaliar o risco desse material. O VOSviewer apresenta as palavras que têm maior densidade, com destaque em vermelho.

No período de 2006-2009, o número de artigos aumentou consideravelmente, e com isso também aumentaram a coocorrência de palavras nos trabalhos analisados, ou seja, termos relevantes se repetem em vários artigos. Na Figura 2, observa-se que, nesse período, ganha força a discussão sobre dispositivos, processos e mercado, resultados, processamento de alimentos, embalagens para os alimentos e administração de medicamentos. Por isso, também aparece a Food and Drug Administration (FDA) próxima à palavra benefícios. Essas palavras aparecem concentradas nas áreas em vermelho, ou seja, são palavras que têm maior densidade.

FIGURA 1

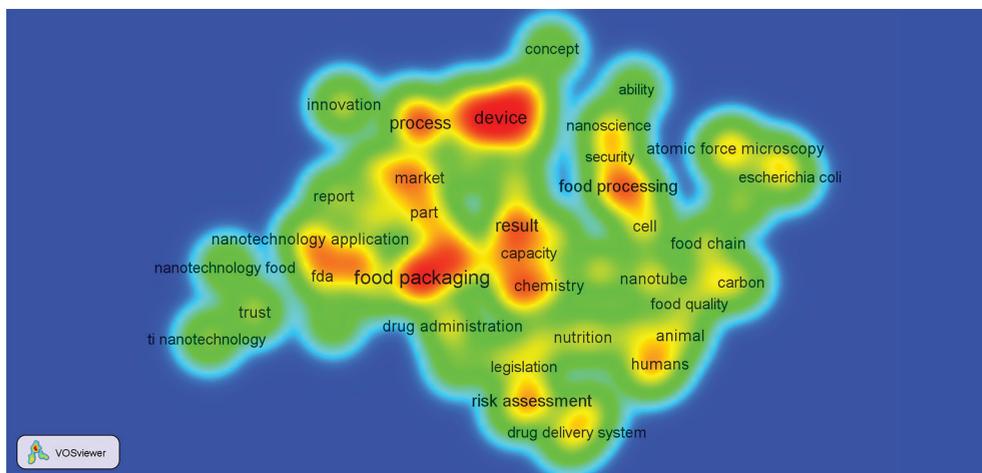
DENSIDADE DA COCORRÊNCIA DAS PALAVRAS
NO PERÍODO DE 2001-2005



Fonte: Elaborada pelos autores com dados da base Scopus, com o aporte dos *softwares* BibExcel, para preparação dos dados, e VOSviewer, para cálculo da densidade e proximidade das palavras-chave.

FIGURA 2

DENSIDADE DA COCORRÊNCIA DAS PALAVRAS
NO PERÍODO DE 2006-2009



Fonte: Elaborada pelos autores com dados da base Scopus, com o aporte dos *softwares* BibExcel, para preparação dos dados, e VOSviewer, para cálculo da densidade e proximidade das palavras-chave.

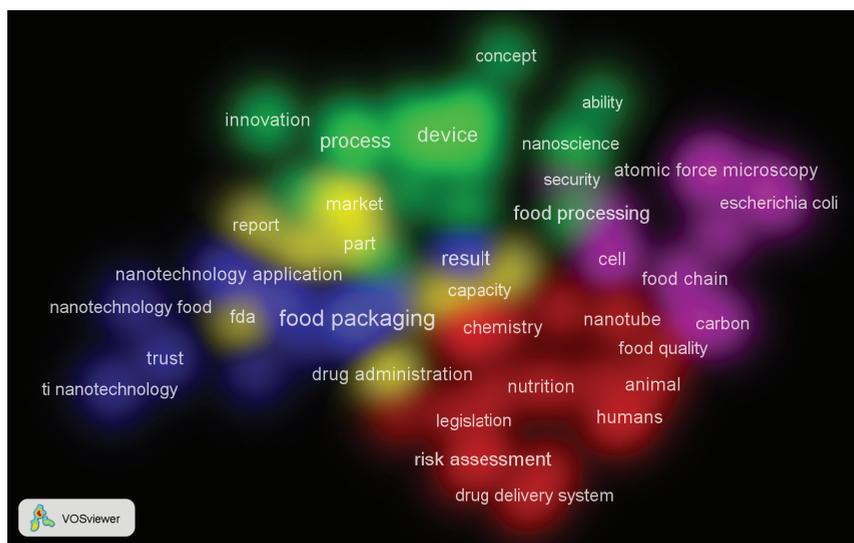
Em laranja, com menor força, aparecem em destaque as preocupações com o risco de toxicidade das nanopartículas. Também se discute o sistema de entrega de medicamentos com o uso das nanotecnologias e a biodisponibilidade. Outra palavra que surge nesse contexto é confiança, que se relaciona com as preocupações ligadas aos riscos que as nanotecnologias apresentam.

Entram em cena também os nanotubos, estruturas que têm características importantes para transportar medicamentos e suplementos alimentares no organismo, além de inúmeras outras funcionalidades que podem ser desenvolvidas a partir dessas estruturas.

Na Figura 3, apresenta-se o processo de clusterização desenvolvido pelo *software*. Observa-se que o *cluster* demarcado com a cor verde traz como palavras-chaves: concepção, nanociência, eletrônica, capacidades, dispositivos, biossensores, papel da nanoescala, vida de prateleira, inovação, organização, processo e futuro.

FIGURA 3

**CLUSTERS PELO AGRUPAMENTO DE PALAVRAS
NO PERÍODO 2006-2009**



Fonte: Elaborada pelos autores com dados da base Scopus, com o aporte dos *softwares* BibExcel, para preparação dos dados, e VOSviewer, para cálculo da densidade e proximidade das palavras-chave.

Em termos de tecnologia, os biossensores são o centro da discussão nesse período. Trata-se de dispositivos utilizados como elemento de reconhecimento que têm distintas funcionalidades, entre elas a prevenção da contaminação de alimentos. Uma das principais funções dos biossensores baseados em nanotecnologia é a detecção de patógenos. Trata-se de uma tecnologia emergente que terá impactos

em distintas aplicações, na saúde e nos medicamentos, na agricultura e nos alimentos, no meio ambiente e no setor de biodefesa, pois existem preocupações ligadas à biossegurança e também ao bioterrorismo (Driskell & Tripp, 2009).

Existem três grandes áreas em que a nanotecnologia foi integrada para desenvolver a próxima geração de biossensores: 1. para melhorar a sensibilidade do ensaio, a especificidade e os limites de detecção; 2. aumentar o rendimento da amostra; e 3. reduzir a complexidade do ensaio. Os nanossensores respondem em menor tempo devido à sua pequena superfície detectora, maximizando o número de análises realizadas num único teste. Os custos também podem ser reduzidos com o uso dos nanossensores, por diminuírem etapas de processamento da amostra de análise (Driskell & Tripp, 2009).

Os biossensores podem contribuir para o aumento de vida de prateleira dos produtos alimentícios, de acordo com Bugusu e Bryant (2006), garantindo-lhes qualidade. A eletrônica também se relaciona com os biossensores. Como descrevem Fonseca, Cané e Mazzolai (2007), a combinação da nanotecnologia com a ciência da computação pode criar novos instrumentos adaptados às exigências do setor agroalimentar. São distintas as aplicações eletrônicas que utilizam a nanotecnologia e que podem contribuir para o setor agroalimentar (Sekhon, 2014).

Há também uma discussão sobre processos e inovação. Uma das linhas de discussão nesse *cluster* se refere ao que se considera inovação. Para Linton e Walsh (2008), o paradigma da inovação voltada ao produto precisa ser superado, considerando que as nanotecnologias inovam no processo e podem mudar substancialmente as características dos produtos finais.

No *cluster* delimitado pela cor amarela, percebe-se uma discussão em torno da palavra mercado, como é de se esperar, pois uma inovação só é assim considerada se chegar ao mercado. Segundo Loveridge, Dewick e Randles (2008), os nanoartefatos contribuem para melhorar a vida humana, especialmente nos domínios da energia e dos alimentos.

No *cluster* delimitado pela cor violeta, apresenta-se um agrupamento das palavras micro-organismo e microscópio, conectadas à questão da segurança dos alimentos. Trata-se de trabalhos que discutem a aplicação da nanotecnologia no setor agroalimentar, especialmente para a sua conservação, incluindo a contaminação por bactérias e toxinas (Kampers, 2007; Case, 2006; Driskell & Tripp, 2009; Das, Saxena, & Dwivedi, 2012; Da Pieve, Calligaris, & Nicoli, 2009).

No *cluster* identificado pela cor azul, o tema central é a embalagem para alimentos. Há uma discussão nesse *cluster* que envolve a segurança no uso da nanotecnologia nas embalagens e a confiança das pessoas nessas tecnologias (Siegrist, Stampfli, Kastenholz, & Keller, 2008).

A discussão sobre a segurança também é evidente no *cluster* vermelho, mas sobre diferente aspecto. Se, por um lado, as nanotecnologias podem contribuir para a segurança alimentar, há, por outro, uma preocupação sobre a toxicidade das

nanopartículas. Por se tratar de partículas muito pequenas, há o risco de atravessarem as células ou passarem diretamente para os pulmões, caindo na corrente sanguínea e atingindo todos os órgãos do corpo (Amoabediny *et al.*, 2009). É por isso que segurança e riscos se associam nesse *cluster* (Siegrist *et al.*, 2008).

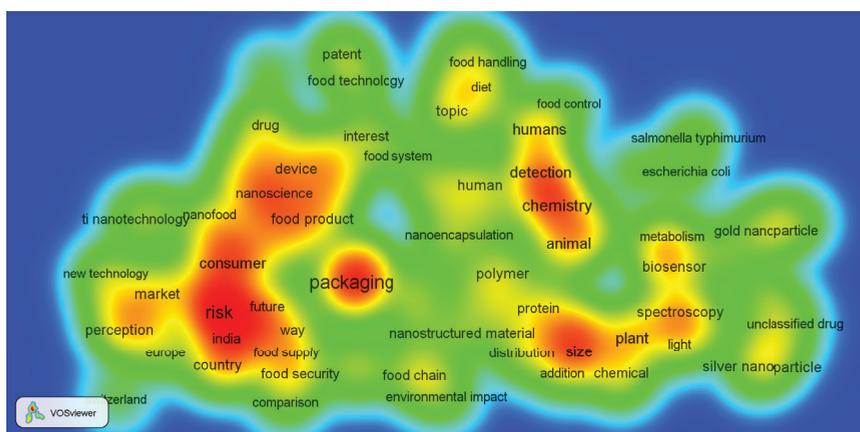
Com essa discussão, surgiu também uma preocupação com a legislação para o uso das nanotecnologias (Sadrieh & Espandiari, 2006). Como mencionado, as nanotecnologias são utilizadas em medicamentos e alimentos, ambos regulados nos Estados Unidos pela FDA (Armstrong, 2009).

Por fim, nesse *cluster*, temos a biodisponibilidade em discussão. As nanopartículas, como as de silício, aumentam a superfície ativa e melhoram a absorção celular. Trata-se de uma aplicação importante para a hidratação da pele, segundo Berardesca e Carrera (2009). Desse modo, a biodisponibilidade se conecta com a discussão sobre a saúde. Robson (2009) ressalta que a nutrição, por meio do uso das nanotecnologias em nutrientes biodisponíveis, pode melhorar o equilíbrio das doenças humanas e animais. Por meio dessas e de outras aplicações, acredita-se que as nanotecnologias poderão contribuir para a longevidade e a qualidade de vida.

No período de 2010 a 2013, observa-se, na Figura 4, que as embalagens continuam no centro da discussão quando se trata do uso da nanotecnologia no setor agroalimentar. Percebe-se também que os riscos associados às nanotecnologias ganham destaque entre os 177 artigos publicados nesse período, como também a discussão sobre o tamanho das nanopartículas, relacionadas à absorção celular e consequentemente aos riscos que representam ao organismo.

FIGURA 4

DENSIDADE DA COCORRÊNCIA DAS PALAVRAS
NO PERÍODO DE 2010-2013



Fonte: Elaborada pelos autores com dados da base Scopus, com o aporte dos softwares BibExcel, para preparação dos dados, e VOSviewer, para cálculo da densidade e proximidade das palavras-chave.

A química também se destaca em termos de densidade entre os artigos publicados. Química é uma palavra utilizada para distintas finalidades, desde a menção sobre a química na agricultura até as propriedades químicas dos alimentos e as análises dessas propriedades.

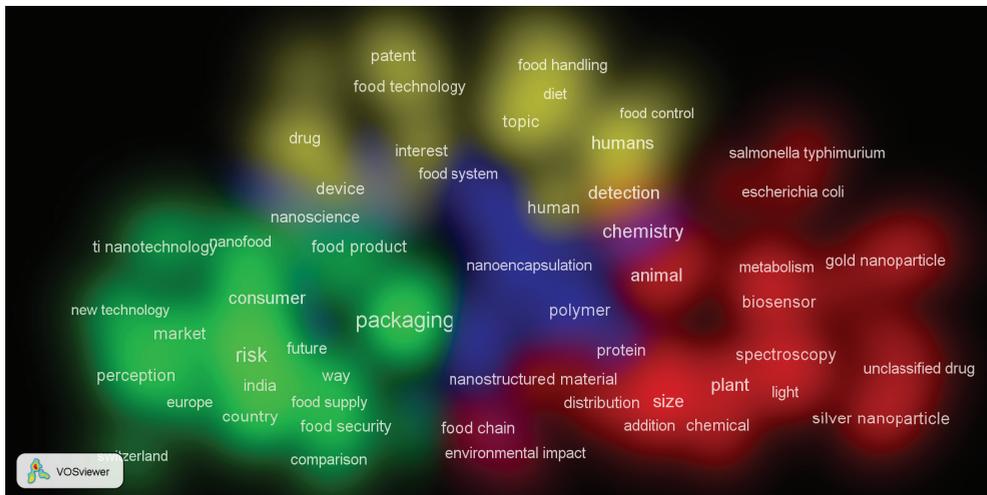
Nesse período, também surgem novas palavras, como nanopartículas de prata e ouro, que têm sido utilizadas para distintas finalidades. O processo de encapsulamento de nanopartículas também sobressai.

Identifica-se ainda a proeminência das discussões acerca da obtenção de patentes. Os trabalhos sobre risco e legislação continuam, mas percebe-se que a governança também surge como movimento no contexto científico. A detecção de patógenos continua em destaque, porém, nesse período, a salmonela e mais densamente as bactérias têm recebido atenção dos cientistas. Também é possível identificar a força dos Estados Unidos e da União Europeia nas discussões sobre o uso das nanotecnologias nos alimentos.

Na Figura 5, observa-se a clusterização das palavras por sua proximidade. Nesse período, pode-se considerar a existência de quatro *clusters*. Em termos de agrupamento, pode-se considerar um movimento similar ao que ocorreu no período anterior. Entretanto, percebe-se a inclusão de novas palavras nesses *clusters*, demonstrando a evolução das pesquisas nessas áreas.

FIGURA 5

CLUSTERS PELO AGRUPAMENTO DE PALAVRAS NO PERÍODO 2010-2013



Fonte: Elaborada pelos autores com dados da base Scopus, com o aporte dos softwares BibExcel, para preparação dos dados, e VOSviewer, para cálculo da densidade e proximidade das palavras-chave.

As nanopartículas metálicas que se destacaram nesse período foram o ouro e a prata, porém existem outros metais que estão sendo utilizados na nanoescala, como óxido de zinco, óxido de cério, óxido de alumínio, óxido de zircônio, dióxido de titânio, cobre, entre outros. Esses materiais, quando utilizados na escala nano, têm uma elevada superfície em relação ao seu volume, com propriedades únicas de absorção, solubilidade e atividade catalítica e biológica. São utilizados como biocidas de bactérias, vírus, fungos e leveduras. Pelo seu poder antimicrobiano, as nanopartículas metálicas estão sendo utilizadas em distintos produtos, entre eles filtros de ar e de água, têxteis e vestuário, tintas e vernizes, cosméticos, tratamento de água, máquina de lavar, aplicações médicas. Também têm sido utilizadas na indústria alimentar, especialmente para revestimentos em equipamentos utilizados no processamento de alimentos e em materiais de embalagens para reduzir a deterioração dos alimentos e de doenças (Senior, Müller, Schacht, & Bunge, 2012). Entre as bactérias, a salmonela se destaca. Segundo Shinohara *et al.* (2008, p. 1675), trata-se de “um dos microrganismos mais amplamente distribuídos na natureza”.

Ainda atrelados às preocupações com as contaminações bacterianas, porém com a funcionalidade da detecção da contaminação, os biossensores continuam sendo pesquisados. Nesse período, novas técnicas são desenvolvidas, tal como proposto por Manonmani, Juliet e Kumar (2013), em que o biossensor trabalha em conjunto com o quitosano, um polímero biodegradável que é usado para a separação das bactérias patogênicas. A detecção é feita pela intensidade da fluorescência após a aplicação de um corante.

No *cluster* delimitado pela cor azul, percebe-se a encapsulação como o elemento conectivo entre as palavras. Encapsulação é o processo por meio do qual se faz a entrega de nutrientes e suplementos para a saúde (Momin, Jayakumar, & Prajapati, 2013). Também denominado de nanoencapsulação, esse processo promove a liberação controlada do produto final que pode ser uma vitamina, um antioxidante, proteínas, lipídios e hidratos de carbono. Com a liberação controlada, o produto mantém-se por mais tempo no organismo, com maior funcionalidade e estabilidade (Quintanilla-Carvajal *et al.*, 2010).

Nesse mesmo *cluster*, conectam-se as embalagens inteligentes, os biossensores e o armazenamento de alimentos. De Abreu, Cruz e Losada (2012) esclarecem que as embalagens de alimentos passaram de uma função passiva de proteção a uma função ativa. As embalagens ativas interagem com o produto ou com o ambiente circundante, podendo aumentar o tempo de vida útil dos alimentos. De acordo com Kour *et al.* (2013), as embalagens inteligentes e ativas estão sendo aplicadas no armazenamento de produtos frescos. Distintos usos são possíveis: os biossensores podem detectar a deterioração dos alimentos, o revestimento de nanoargila e as barreiras de óxido de silício em garrafas de vidro impedem a

difusão do gás, filmes metalizados e antimicrobianos podem ser incorporados, pigmentos podem ser melhorados, entre outros.

No *cluster* verde, percebe-se uma tendência de compreender melhor a toxicidade dos produtos – questão relacionada ao risco e aos problemas que podem surgir no organismo –, a necessidade de governança e legislação, e a percepção do consumidor. Nesse sentido, Xu, Lius, Bai e Chen (2010) indicam que há muitos fatores determinantes para as atividades incomuns e toxicidades dos nanomateriais que podem envolver o tamanho da partícula, a composição química, a estrutura de superfície e a dosagem, bem como as três principais vias de exposição, incluindo inalação, ingestão e exposição cutânea.

Por fim, no *cluster* amarelo, destaca-se a discussão em torno do uso das nanotecnologias na produção de alimentos, das patentes e dos riscos associados. Segundo Benckiser (2012), numa combinação das palavras-chave superabsorção, agricultura, nutrição e tecnologia de alimentos, obtiveram-se mais de 68 milhões de patentes em todo o mundo. A elevação do número de patentes se dá pelo potencial que as nanotecnologias têm. Entretanto, também há uma discussão dos riscos associados ao uso dessas tecnologias, como já citado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal contribuição deste trabalho foi identificar as principais áreas e tendências de pesquisa em nanotecnologia no setor agroalimentar. Neste estudo, evidenciou-se que as primeiras discussões relacionando nanotecnologia e alimentos tiveram como foco a preocupação com a qualidade e segurança dos alimentos. Esse é um problema que aflige toda a sociedade, além do desenvolvimento de novos produtos que possam contribuir para a atual problemática dos resíduos sólidos provenientes de embalagens.

No período de 2006 a 2009, percebeu-se um avanço nas pesquisas, com a expansão das discussões não apenas sobre as aplicações e funcionalidades, mas também acerca do mercado e da legislação, por causa das preocupações com a toxicidade na manipulação de átomos e moléculas na escala nanométrica.

No período mais recente (2010-2013), foi possível identificar uma ampliação das pesquisas de novos materiais. As linhas de tendência indicam a importância dos biossensores, das embalagens e dos processos de entrega de nutrientes por meio de encapsulamento, e continua a discussão acerca da legislação. Cabe ressaltar que o marco regulatório para produtos que utilizam materiais na nanoescala está sendo discutido mundialmente. Em agosto de 2014, o Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN) aprovou a adesão do Brasil ao projeto europeu NanoReg, que busca uma regulação internacional em nanotecnologia.

Os resultados deste trabalho evidenciam o crescimento dos estudos científicos sobre o uso da nanotecnologia no setor agroalimentar. É possível perceber a trajetória evolutiva das aplicações da nanotecnologia em diferentes produtos. Embora o Brasil tenha iniciado o apoio ao desenvolvimento de pesquisas com a nanotecnologia em 2001, no mesmo período em que países como Estados Unidos e China iniciaram seus programas, avançamos pouco.

O Brasil, por ser um importante produtor de alimentos, precisa concentrar esforços para alavancar esse campo de pesquisa no país, buscando superar os desafios apontados por Cozzens *et al.* (2013). Como ressalta Noyons (2012), os mapas de ciência podem contribuir para a elaboração das políticas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). Nesse sentido, o presente estudo traz indicativos para a elaboração de políticas de apoio e fomento à pesquisa científica e tecnológica com o uso da nanotecnologia para o setor agroalimentar.

No âmbito acadêmico, o processo de revisão bibliográfica realizado apontou que as discussões sobre nanotecnologia e alimentos são pouco exploradas no Brasil e por pesquisadores brasileiros em publicações internacionais. O estudo avança em relação à revisão bibliográfica realizada por Assis *et al.* (2012) e García *et al.* (2010) ao trazer à tona a trajetória evolutiva dos estudos realizados no cenário internacional e as distintas possibilidades de pesquisa e aplicação da nanotecnologia no setor agroalimentar.

Iniciativas recentes do governo brasileiro, como a criação da Rede SisNano, participação no projeto NanoReg e outras não mencionadas neste estudo, abrem um leque de opções para estudos e pesquisas na área da administração.

Os resultados da pesquisa apontam tecnologias que poderão impactar na cadeia de valor dos produtos alimentícios, de equipamentos e utensílios, da agricultura e de embalagens. O desenvolvimento de nanotecnologia nesse setor poderá contribuir para a redução de assimetria de que tratam Cozzens *et al.* (2013).

O estudo apresenta limitação relacionada às palavras-chave utilizadas (*nanotechnology* e *food*), buscadas pelo resumo das publicações. Nesse sentido, a discussão centralizou-se na gestão pós-colheita. Para abarcar estudos voltados às pesquisas das bases genéticas das plantas e novas tecnologias para o plantio, como apontado por Hewett (2013) e Sekhon (2014), sugere-se o desenvolvimento de novos estudos com a inclusão de outros termos na pesquisa.

Em relação ao uso do *software* VOSviewer, trata-se de uma ferramenta que pode auxiliar os pesquisadores das distintas áreas da ciência. No presente trabalho, utilizou-se uma das funções do *software*, a criação de mapa baseado num corpo de texto. Entretanto, existem distintas possibilidades de uso desse *software* que poderão ser exploradas em estudos futuros.

Sugere-se, como possibilidade de estudos futuros, aprofundar o conhecimento sobre o mercado dos produtos nanotecnológicos para o setor agroalimentar, identificando atores e tecnologias que estão sendo desenvolvidas no país e

no cenário internacional. É possível analisar as implicações dessas inovações para o mercado em diferentes áreas da administração. Para tanto, destaca-se a importância do diálogo e da aproximação do campo da Ciência Social Aplicada da Administração com as demais áreas do conhecimento.

KNOWLEDGE MAP IN NANOTECHNOLOGY IN THE FOOD AND AGRICULTURE SECTOR

ABSTRACT

Nanotechnology is regarded by many authors as the base for the next industrial revolution. The prefix “nano” is equivalent to 10^{-9} m. Manipulation at the nanometric level can modify properties such as color, conductivity, reactivity, melting point, among others, creating new applications for materials. It is seen as a multidisciplinary science with applications in distinct sectors, such as physics, chemistry, biology, materials, and information, among others. In Brazil, the policies of support to nanotechnologies started in 2001, and since 2007, nanotechnologies were identified as a strategic area for the Brazilian government, due to their innovation potential, market growth, and the benefits related to their use. The food and agriculture sector, object of this study, is among the areas that can be benefited from using nanotechnologies. Considering the importance of the sector for the Brazilian economy, this paper aims to identify and to describe the research that involves nanotechnology in the food and agriculture sector. To do this, an application through the software *VOSviewer* has been made by means of studies published in the database Scopus. To identify how investigations have evolved over time, the search was divided into three different periods: 2001-2005, 2006-2009 and 2010-2013. The results pointed out four trends: 1. use of the biosensors, especially for contamination detection; 2. use of active packaging, biodegradable and containing indicators of deterioration and contamination; 3. encapsulation for delivery of nutrients; and 4. risks and benefits, regulatory frameworks. The results may provide means to develop policies that support and promote nanotechnology to the food and agriculture sector, as well as to suggest research objects for identifying the current phase of these technologies in Brazil. The prospection made also contributes to identify business opportunities for Brazilian businessmen.

KEYWORDS

Nanotechnology. Food. Agriculture. Food and agriculture. *VOSviewer*.

MAPA DEL CONOCIMIENTO DE NANOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO

RESUMEN

La nanotecnología es considerada por muchos autores como la base para la próxima revolución industrial. El prefijo “nano” equivale a 10^{-9} m. La manipulación en la escala nanométrica puede modificar propiedades como color, conductividad, relatividad, punto de fusión, entre otras, creando nuevas aplicaciones para los materiales. Es considerada como una ciencia multidisciplinar con aplicaciones en distintos sectores, tales como física, química, biología, materiales, información, entre otros. En Brasil, las políticas de apoyo a las nanotecnologías iniciaron en 2001, y a partir de 2007, la nanotecnología fue identificada como área estratégica para el gobierno brasileño por su potencial de innovación, crecimiento de mercado y beneficios asociados a su utilización. El sector agroalimentario, objeto de este estudio, es una de las áreas que se puede beneficiar con la utilización de las nanotecnologías. Considerando la importancia del sector para la economía brasileña, este trabajo tiene como objetivo identificar y describir las investigaciones que envuelven la nanotecnología en el sector agroalimentario. Para eso, se realizó una aplicación con el *software* VOSviewer a partir de trabajos publicados en la base Scopus. Para identificar cómo las investigaciones evolucionaron a lo largo del tiempo, se dividió la búsqueda en tres períodos: 2001-2005, 2006-2009 y 2010-2013. Los resultados apuntan cuatro tendencias: 1. uso de los biosensores, especialmente para detectar contaminación; 2. uso de envases activos, biodegradables e indicadores de deterioración o contaminación; 3. encapsulamiento para entrega de nutrientes; y 4. riesgos y beneficios, marcos regulatorios. Los resultados pueden subsidiar la elaboración de políticas de apoyo y fomento a la nanotecnología para el sector agroalimentario, bien como sugieren temas de investigación para identificación del nivel actual de esas tecnologías en Brasil. La prospección realizada también contribuye para la identificación de oportunidades de negocios para los empresarios brasileños.

PALABRAS CLAVE

Nanotecnología. Alimentos. Agricultura. Agroalimentario. VOSviewer.

REFERÊNCIAS

- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2010). Cartilha sobre Nanotecnologia. Brasília: MDPI; Campinas: UNICAMP.
- Amoabediny, H., Naderi, A., Malakootikhah, J., Koochi, M., Mortazavi, A., Naderi, M., & Rashedi, H. (2009). Guidelines for safe handling, use and disposal of nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*, 170(1), 1-12. doi: 10.1088/1742-6596/170/1/012037.
- Armstrong, D. J. (2009). Food Chemistry and U.S. Food Regulations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8180-8186. doi: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf900014h>.
- Arora, S. K., Youtie, J., Carley, S., Porter, A., & Shapira, P. (2014). Measuring the development of a common scientific lexicon in nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(1), 2194. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-014-2280-y>.
- Assis, L. M., Zavareze, E. R., Prentice-Hernández, C., & Souza-Soares, L. A. (2012). Revisão: características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2(15), 99-109. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232012005000004>.
- Barth, M., Hausteiner, S., & Scheidt, B. (2014). The life sciences in German-Chinese cooperation: an institutional-level co-publication analysis. *Scientometrics*, 98(1), 99-117. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-013-1147-9>.
- BCC Research (2014). Nanotechnology: a realistic market assessment. Recuperado em 15 janeiro, 2015, de <http://www.reportlinker.com/p096617-summary/Nanotechnology-A-Realistic-Market-Assessment.html>.
- Benckiser, G. (2012). Nanotechnology and patents in agriculture, food technology, nutrition and medicine – advantages and risks worldwide patented nano- and absorber particles in food nutrition and agriculture. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*, 4(3), 171-175.
- Berardesca, E., & Carrera, M. (2009). Clinical and instrumental evaluation of the efficacy of a nanosilicon containing formulation. *Journal of Plastic Dermatology*, 5(1), 7-11.
- Bugusu B., & Bryant C. (2006). Defining the future of food packaging. *Food Technology*, 60(12), 38-42.
- Case, F. (2006). Nanotechnology: shaping the oils industry atom by atom? *Inform – International News on Fats, Oils and Related Materials*, 17(3), 134-136.
- Cozzens, S., Cortes, R., Soumonni, O., & Woodson, T. (2013). Nanotechnology and the millennium development goals: water, energy, and agri-food. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(11), 10-23. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-013-2001-y>.
- Da Pieve, S., Calligaris, S., & Nicoli, M. C. (2009). Nanotechnologies in the food sector: state of the art and perspectives [Nanotecnologie nel settore alimentare stato dell'arte v. prospettive]. *Industrie Alimentari*, 48(489), 44-52.
- Das, M., Saxena, N., & Dwivedi, P. D. (2012). Emerging trends of nanoparticles application in food technology: safety paradigms. *Nanotoxicology*, 3(1), 10-18. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/17435390802504237>.
- De Abreu, D. A. P., Cruz, J. M., & Losada, P. P. (2012). Active and intelligent packaging for the food industry. *Food Reviews International*, 28(2), 146-187. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2011.595022>.

- Driskell, J. D., & Tripp, R. A. (2009). Emerging Technologies in Nanotechnology-Based Pathogen Detection. *Clinical Microbiology Newsletter*, 31(18), 137-144. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2009.08.003>.
- Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.
- Fonseca, L., Cane, C., & Mazzolai, B. (2007). Application of micro and nanotechnologies to food safety and quality monitoring. *Measurement and Control*, 40(4), 116-119. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/002029400704000405>.
- García, M., Forbe, T., & Gonzalez, E. (2010). Potential applications of nanotechnology in the agro-food sector. *Food Science and Technology*, 30(3), 573-581. Recuperado em 9 março, 2015, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612010000300002&lng=pt&tlng=en. 10.1590/S0101-20612010000300002.
- Gobster, P. H. (2014). Mining the LANDscape: themes and trends over 40 years of Landscape and Urban Planning. *Landscape and Urban Planning*, 126, 21-30.
- Gordon, J. L. P. L. (2010). *Políticas para nanotecnologia no Brasil – 2004/2008*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Hewett, E. W. (2013). Postharvest innovation: current trends and future challenges in the global market. *Acta Horticulturae*, 989, 25-37. Recuperado em 15 junho, 2014, de http://www.actahort.org/books/989/989_1.htm.
- Kampers, F. (2007). Micro- and nanotechnologies for food and nutrition in preventative Healthcare. *Food Science and Technology*, 21(1), 20-23.
- Kay, L., & Shapira, P. (2009, February). Developing nanotechnology in Latin America. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(2), 259-278. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-008-9503-z>.
- Klochikhin, E. A. (2013). *Public policy in (re)building national innovation capabilities: a comparison of S&T transitions in China and Russia*. Doctoral thesis, University of Manchester UK.
- Klochikhin, E. A., & Shapira, P. (2012). Engineering small worlds in a big society: assessing the early impacts of nanotechnology in China. *Review of Policy Research*, 29, 752-775. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1541-1338.2012.00596.x>.
- Kour, H., Towseef Wani, N. A., Malik, A., Kaul, R., Chauhan, H., Gupta, P., Bhat, A., & Singh J. (2013). Advances in food packaging – a review. *Stewart Postharvest Review*, 9(4), 1-7a. doi: <http://dx.doi.org/10.2212/spr.2013.4.7>.
- Lagaron, J. M., Cabedo, L., Cava, D., Feijoo, J. L., Gavara, R., & Gimenez, E. (2005). Improving packaged food quality and safety. Part 2: Nanocomposites. *Food Additives and Contaminants*, 22(10), 994-998. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/02652030500239656>.
- Leydesdorff, L., Rafols, I., & Chen, C. (2013). Interactive overlays of journals and the measurement of interdisciplinarity on the basis of aggregated journal-journal citations. *Journal of the American Society of Information Science and Technology*, 64(12), 2573-2586. Recuperado em 15 junho, 2014, de <http://arxiv.org/abs/1301.1013>.
- Linton, J. D., & Walsh S. T. (2008). A theory of innovation for process-based innovations such as nanotechnology. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(5), 583-594.
- Loveridge, D., Dewick, P., & Randles, S. (2008). Converging technologies at the nanoscale: the making of a new world? *Technology Analysis and Strategic Management*, 20(1), 29-43. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09537320701726544>.

- Manonmani, V., Juliet, A. V., & Kumar, K. P. (2013). A novel method of using biosensor with nanoparticles for the detection of pathogenic bacteria in food. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 15(4), 799-804.
- Ministério da Ciência e Tecnologia. (2010). *Livro Azul da 4ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2013). Rede Sis NANO. Recuperado em 1º novembro, 2013, de <http://nano.mct.gov.br/sisnano/sobre-o-sisnano/>.
- Momin, J. K., Jayakumar, C., & Prajapati, J. B. (2013). Potential of nanotechnology in functional foods. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(1), 10-19.
- Noyons, E. (2012). Using bibliometric maps of science in a science policy context. *Em Questão*, 18, 15-27.
- Peixoto, F. J. M. (2013). *Nanotecnologia e sistemas de inovação: implicações para política de inovação no Brasil*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Quintanilla-Carvajal, M. X., Camacho-Diaz, B. H., Meraz-Torres, L. S., Chanona-Perez, J. J., Alamillo-Beltran, L., Jimenez-Aparicio, A., & Gutierrez-Lopez, G. F. (2010). Nanoencapsulation: a new trend in food engineering processing. *Food Engineering Reviews*, 2(1), 39-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12393-009-9012-6>.
- Rafols, I., Hopkins, M. M., Hoekman, J., Siepel, J., O'Hare, A., Perianes-Rodríguez, A., & Nightingale, P. (2014). Big Pharma, little science? A bibliometric perspective on Big Pharma's R&D decline. *Technological Forecasting & Social Change*, 81, 22-38. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2012.06.007>.
- Rafols, I., Leydesdorff, L., O'Hare, A., Nightingale, P., & Stirling, A. (2012). How journal rankings can suppress interdisciplinary research: a comparison between innovation studies and business & management. *Research Policy*, 41(7), 1262-1282. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.017>.
- Renn, O., & Roco, M. (2006). Nanotechnology risk governance. *International Risk Governance Council*, Geneva. Recuperado em 1º julho, 2014, de <http://www.irgc.org/issues/nanotechnology/nanotechnology-risk-governance/>.
- Robson, A. A. (2009). Preventing diet induced disease: bioavailable nutrient-rich, low-energy-dense diets. *Nutrition and Health*, 20(2), 135-166.
- Rodrigues, R., Santana, C. A. M., Barbosa, M. T. L., & Pena, M. A. G., Júnior (2012). Drivers de mudanças no sistema agroalimentar brasileiro. *Revista Parcerias Estratégicas*, 17(34), 7-43.
- Sadrieh, N., & Espandari, P. (2006). Nanotechnology and the FDA: what are the scientific and regulatory considerations for products containing nanomaterials? *Nanotechnology Law and Business*, 3(3), 339-349.
- Sekhon, B. S. (2014). Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnology, Science and Applications*, 7, 31-53. doi: <http://dx.doi.org/10.2147/NSA.S39406>.
- Senior, K., Müller, S., Schacht, V. J., & Bunge, M. (2012). Antimicrobial precious-metal nanoparticles and their use in novel materials. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*, 4(3), 200-209.
- Shinohara, N. K., Barros, V. B., Jimenez, S. M. C., Machado, E. de C. L., Dutra, R. A. F., & Lima, J. L. de, Filho (2008). Salmonella spp., importante agente patogênico veiculado em alimentos. *Ciência & Saúde Coletiva*, 13(5), 1675-1683. Recuperado em 22 janeiro, 2015, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232008000500031&lng=en&tlng=pt.10.1590/S1413-81232008000500031.

Siegrist, M., Stampfli, N., Kastenholz, H., & Keller, C. (2008). Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology food packaging. *Appetite*, 2(51), 283-290. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2008.02.020>.

Sociedade Nacional de Agricultura. (2012). Biopolímeros: “plásticos” de grãos e tubérculos. *A Lavoura*, 690, 22-23. Recuperado em 27 maio, 2014, de http://sna.agr.br/wp-content/uploads/alav690_biopolimeros.pdf.

União Europeia. (2011). *Recommendation on the definition of nanomaterial*. Recuperado em 5 julho, 2014, de http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/questions_answers_en.htm#3.

Waaijer, C. J. F., Bochove, C. A., van, & Eck, N. J., van (2011). On the map: *Nature and Science* editorials. *Scientometrics*, 86(1), 99-112. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-010-0205-9>.

Xu, L., Liu, Y., Bai, R., & Chen, C. (2010). Applications and toxicological issues surrounding nanotechnology in the food industry. *Pure and Applied Chemistry*, 82(2), 349-372. doi: <http://dx.doi.org/10.1351/PAC-CON-09-05-09>.