

Tecnologias de rastreabilidade, segurança e controle de resíduos de agrotóxicos na cadeia produtiva de alimentos de origem vegetal: um estudo de revisão

Technologies for traceability, safety and control of pesticide residues in the food production chain of plant origin: a review study

Tecnologías para la trazabilidad, seguridad y control de residuos de plaguicidas en la cadena de producción alimentaria de origen vegetal: un estudio de revisión

Recebido: 01/12/2020 | Revisado: 07/12/2020 | Aceito: 09/12/2020 | Publicado: 13/12/2020

Milton Cosme Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4522-9047>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: miltoncribeiro@gmail.com

Alisson Martins Ramos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3703-3370>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: alissonramos@ufmg.br

Vanessa Alves Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0417-8490>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: vanessa.nutr@gmail.com

Joice Rodrigues da Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-0305>

Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais, Brasil

E-mail: joicegeo89@gmail.com

Camila Argenta Fante

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1707-3850>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: camila.fante@gmail.com

Resumo

O objetivo deste artigo consistiu em realizar uma revisão integrativa da literatura sobre os aspectos envolvidos e as principais tecnologias de rastreabilidade voltadas para a segurança e

controle de resíduos de agrotóxicos em alimentos vegetais. A análise dos artigos ocorreu de forma descritiva, de maneira a apresentar seus aspectos mais relevantes e reunir conhecimentos produzidos sobre o tema. Para tanto, foram selecionados 67 artigos publicados nos últimos dez anos (2010 - 2020) em periódicos nacionais e internacionais. O estudo possibilitou observar que o desenvolvimento de tecnologias de rastreabilidade, apoiadas especialmente no uso da internet e da inteligência artificial, se apresenta como um importante reforço na garantia de precisão e fluxo seguro de informações na cadeia produtiva de alimentos. Além disso, a demanda dos consumidores por mais transparência e segurança na cadeia produtiva e o estabelecimento de mecanismos regulatórios internacionais de rastreabilidade sob *commodities* alimentares têm impulsionado o desenvolvimento dessas tecnologias. Entretanto, a maioria dos artigos revisados apontam que tais tecnologias ainda estão muito associadas a processos de logística, em detrimento a aspectos relacionados à segurança alimentar e ao controle sanitário sobre resíduos de agrotóxicos em alimentos vegetais.

Palavras-chave: Produção de alimentos; Tecnologia da informação; Internet das coisas; Controle de perigos; Agroquímicos.

Abstract

The objective of this article was to carry out an integrative literature review on the aspects involved and the main traceability technologies aimed at the safety and control of pesticide residues in plant foods. The analysis of the articles occurred in a descriptive way, in order to present its most relevant aspects and gather knowledge produced on the topic. To this end, 67 articles published in the last ten years (2010 - 2020) in national and international journals were selected. The study made it possible to observe that the development of traceability technologies, supported especially in the use of the internet and artificial intelligence, presents itself as an important reinforcement in guaranteeing precision and safe flow of information in the food production chain. In addition, consumer demand for more transparency and security in the production chain and the establishment of international regulatory mechanisms for traceability under food commodities have driven the development of these technologies. However, most of the reviewed articles point out that such technologies are still very much associated with logistics processes, to the detriment of aspects related to food security and sanitary control over pesticide residues in plant foods.

Keywords: Food production; Information technology; Internet of things; Hazard control; Agrochemicals.

Resumen

El objetivo de este artículo fue realizar una revisión bibliográfica integradora sobre los aspectos involucrados y las principales tecnologías de trazabilidad orientadas a la seguridad y control de residuos de plaguicidas en alimentos vegetales. El análisis de los artículos se realizó de forma descriptiva, con el fin de presentar sus aspectos más relevantes y recoger el conocimiento producido sobre el tema. Para ello, se seleccionaron 67 artículos publicados en los últimos diez años (2010 - 2020) en revistas nacionales e internacionales. El estudio permitió observar que el desarrollo de tecnologías de trazabilidad, apoyado especialmente en el uso de internet y la inteligencia artificial, se presenta como un refuerzo importante para garantizar la precisión y el flujo seguro de información en la cadena de producción alimentaria. Además, la demanda de los consumidores de más transparencia y seguridad en la cadena de producción y el establecimiento de mecanismos reguladores internacionales para la trazabilidad de los productos alimenticios han impulsado el desarrollo de estas tecnologías. Sin embargo, la mayoría de los artículos revisados señalan que dichas tecnologías aún están muy asociadas a los procesos logísticos, en detrimento de aspectos relacionados con la seguridad alimentaria y el control sanitario de los residuos de plaguicidas en los alimentos vegetales.

Palabras clave: Producción de alimentos; Tecnología de la información; Internet de las cosas; Control de peligros; Agroquímicos.

1. Introdução

Na década de 1960, a escritora Rachel Carson, em sua obra *Primavera Silenciosa*, publicada nos Estados Unidos da América, trouxe à tona a discussão sobre os perigos que o uso indiscriminado de agrotóxicos organoclorados promovia ao ambiente e aos seres vivos, despertando a humanidade para a necessidade de seu controle (Carson, 2010). Mais recentemente, o estudo de Bombardi (2017) denominou como “*círculo de envenenamento*” o processo no qual as indústrias químicas situadas em países desenvolvidos, produzem agrotóxicos não permitidos em seus territórios e exportam para outros países, especialmente àqueles em desenvolvimento, onde o controle sanitário é mais frágil. Contudo, esses produtos retornam aos países de origem por meio dos alimentos contaminados, nas chamadas *commodities* alimentares.

De acordo com Lam et al. (2013), além de satisfazer as necessidades básicas de sobrevivência, os alimentos são percebidos como uma mercadoria comercial comum, com fins lucrativos e, a busca por margens de lucros cada vez maiores, tem feito ampliar o número de atividades ilegais promovidas por produtores e fabricantes de alimentos, que ameaçam a soberania e a segurança alimentar dos países.

A atual produção agrícola voltada para atender a demanda mundial por alimentos se depara com grandes desafios relacionados à segurança alimentar. A produção de energia não renovável, a escassez de recursos hídricos, a redução de áreas cultiváveis e a ampliação de impactos ambientais são alguns dos atuais problemas vivenciados (Sarti & Torres, 2017).

Os agrotóxicos têm sido cada vez mais utilizados na agricultura com o intuito de assegurar a alta produtividade, a partir da redução de doenças e pragas nas culturas. Entretanto, estudos realizados nos últimos anos evidenciaram que várias culturas estão sendo comercializadas com a presença de resíduos de agrotóxicos acima dos limites máximos permitidos ou com substâncias não autorizadas pelos órgãos reguladores de diversos países (Gebara et al., 2005; Ciscato; Gebara & Monteiro, 2009; Passos & Reis, 2013).

Para Schreinemachers e Tipraqsa (2012), apesar da dificuldade em se mensurar a quantidade de agrotóxicos utilizada nos alimentos, um aumento de 1% na produção agrícola por hectare está associado a um aumento de 1,8% no uso de agrotóxicos por hectare. Os autores observaram ainda que o uso de agrotóxicos por hectare aumenta à medida que os países se apresentam em um nível mais baixo de desenvolvimento econômico.

Uma pesquisa recente que avaliou os riscos em produtos importados notificados pelos países membros da Comissão Europeia, com dados do período de 1979 a 2017, evidenciou que 8,7% desses riscos estavam relacionados à presença irregular de resíduos de agrotóxicos em vegetais, o que representou a terceira maior causa de notificações, atrás apenas das relacionadas à presença de microrganismos patogênicos (18,2%) e microtoxinas (23,0%) (Piglowski, 2020).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, a todo momento as pessoas estão potencialmente expostas a doenças causadas pela contaminação microbiológica e/ou química de alimentos. Substâncias químicas perigosas, como os agrotóxicos, atingem os alimentos devido a falhas em processos de produção e manipulação de alimentos, ausência de infraestrutura adequada de armazenamento de alimentos e padrões regulatórios inadequados ou mal aplicados (OMS, 2015).

Com o ritmo acelerado da globalização econômica, a segurança alimentar não está apenas relacionada à saúde dos consumidores, mas também consiste em um importante pilar

do desenvolvimento social e econômico. É necessário identificar, prevenir, controlar e reduzir os riscos presentes em alimentos da fazenda até a mesa, considerando a variedade de perigos que podem existir durante esse percurso. Para minimizar os riscos à segurança dos alimentos, é necessário rastrear a fonte desses perigos, a partir do monitoramento do fluxo dos produtos alimentares (Cao et al., 2017).

Além disso, os riscos relacionados aos surtos de doenças comuns em animais que podem ser transmitidas aos seres humanos e a presença de produtos químicos acima dos limites aceitáveis nos alimentos ameaçam a qualidade e a segurança dos produtos agrícolas no mundo contemporâneo. Para proteger as pessoas das doenças de origem alimentar, além de identificar é essencial retirar do mercado ou fazer o *recall* de produtos considerados inseguros (CCI, 2015).

Partindo do pressuposto que existem deficiências no compartilhamento de informações ao longo da cadeia produtiva de alimentos (Aung & Chang, 2014; Jin, Zhang & Xu, 2017) e dos crescentes desafios a serem superados para mitigação de riscos associados aos agrotóxicos (Singh et al., 2017), pesquisas que envolvem a otimização de sistemas de rastreabilidade sobre a presença de resíduos de agrotóxicos assumem relevância para o controle da qualidade de alimentos (Li et al., 2010; Hu et al., 2013; Vanany et al., 2016; Qian et al., 2018).

Embora existam inúmeras definições de rastreabilidade na literatura, um estudo de revisão concluiu que rastreabilidade de alimentos *“é parte da gestão logística que captura, armazena e transmite informações adequadas sobre um alimento, ração animal ou substância que produz alimentos em todos os estágios da cadeia de abastecimento alimentar, para que o produto possa ser verificado quanto à segurança e ao controle de qualidade, rastreado para cima e rastreado para baixo a qualquer momento necessário”* (Bosona & Gebresenbet; 2013)

Neste contexto, o presente estudo se propõe a realizar uma revisão integrativa da literatura científica sobre os aspectos envolvidos e as principais tecnologias de rastreabilidade voltadas para a segurança e controle de resíduos de agrotóxicos em alimentos vegetais.

2. Metodologia

Trata-se de um estudo de revisão integrativa da literatura, de natureza qualitativa, conduzido a partir de fontes secundárias obtidas de periódicos nacionais e internacionais. O estudo foi realizado a partir de um levantamento bibliográfico e análise de artigos publicados nos últimos dez anos (2010/2020), conforme o método proposto por Souza, Silva e Carvalho

(2010). A escolha do método de revisão considerou a possibilidade de produção de conhecimentos a partir da síntese e da aplicabilidade dos achados encontrados, conforme preconiza Pereira et al., (2018).

Para definir qual a abordagem dos estudos que seriam pesquisados, formulou-se a seguinte pergunta norteadora: quais são os aspectos envolvidos e as tecnologias de rastreabilidade para segurança e controle de alimentos vegetais contaminados por resíduos de agrotóxicos?

A fase de coleta de dados ocorreu entre os meses de maio e outubro de 2020. Para tanto, utilizou-se o instrumento de coleta validado por Ursi e Galvão (2006). O instrumento contempla os seguintes itens: identificação do artigo original, características metodológicas do estudo, tipo de tecnologia de rastreabilidade, tipo de abordagem e resultados encontrados.

Procurou-se por periódicos indexados nas seguintes bases de dados: Scientific Electronic Library Online (Scielo), ScienceDirect (Elsevier), Scopus Preview e Crossref. Os critérios de inclusão consistiram de estudos publicados nos últimos dez anos, com resumos disponíveis nas bases de dados selecionadas, com abordagem sobre tecnologias de rastreabilidade para alimentos vegetais. Como critérios de exclusão foram considerados: artigos publicados há mais de dez anos, cujos resumos não estavam relacionados a tecnologias de rastreabilidade, segurança e controle de alimentos vegetais contaminados por resíduos de agrotóxicos.

A busca procurou correlacionar, nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola, os seguintes descritores: “rastreabilidade” and “alimentos” and “segurança” and “controle and “agrotóxicos”. Na sequência, a seleção do material se deu a partir da leitura dos resumos, de forma a identificar os artigos que guardavam relação com a pergunta norteadora definida para o estudo (*corpus*). Ao fim, a análise dos dados se deu de forma descritiva e os resultados foram reunidos em subgrupos, visando facilitar a análise de acordo com as características da amostra.

3. Resultados e Discussão

Ao todo foram selecionados 67 artigos a partir dos critérios de inclusão. Esses estudos foram realizados em 25 países, dos quais se destacaram: China (29,9%), Itália (16,4%) e Espanha (6,0%). Entre os continentes, a maioria dos artigos foram de instituições de pesquisa da Europa (43,3%) e da Ásia (41,8%), seguidos das Américas (8,9%), da África (4,5%) e da Oceania (1,5%). Esses resultados podem sugerir que pesquisadores de países europeus e

asiáticos demonstram maior interesse em estudar a rastreabilidade de alimentos vegetais, sendo a China o país que mais fomenta esse tipo de pesquisa.

Após aplicação dos critérios de exclusão, foram selecionados 6 (9%) artigos que citam alguma tecnologia de rastreabilidade voltada para segurança e controle de alimentos vegetais contaminados por agrotóxicos. O *corpus* final de publicações desta revisão de literatura está representado na Tabela 1.

Tabela 1. Síntese dos estudos que citam o uso de tecnologias de rastreabilidade que podem ser utilizadas para segurança e controle de resíduos de agrotóxicos de alimentos vegetais.

Título da publicação	Autores (Ano)	Origem	Periódico (base de dados)	Abordagem/Tecnologia
Cloud-based system for rational use of pesticide to guarantee the source safety of traceable vegetables	Qian, J., Shi, C., Wang, S., Song, Y., Fan, B., & Wu, X. (2018)	China	Food Control (Elsevier)	Apresenta um caso de um sistema baseado em nuvem (Cloud-Based System) para o uso racional de pesticidas e garantia da segurança de vegetais rastreáveis, bem como reduzir os custos associados com recalls
Food Traceability and Safety: From Farm to Fork: A Case Study of Pesticide Traceability in Grapes	Singh, D., Karthik, S., Nar, S., & Piplani, D. (2017)	India	Journal of Advanced Agricultural Technologies (Crossref)	Apresenta um caso de um sistema integrado de gerenciamento e rastreabilidade que permite detectar os pontos de contaminação por pesticidas ou pontos de falhas na segurança alimentar na produção de uva com o uso do código de barras bidimensional (QR Code)
Developing electronic mango traceability in Indonesia.	Vanany, I., Mardiyanto, R., Ijtihadie, R. M., Andri, K. B., & Engelseth, P. (2016)	Indonesia	Supply Chain Forum: An International Journal (Scopus Preview)	Apresenta um caso de sistema de rastreabilidade eletrônica de frutas (FETS) com base no código de barras bidimensional (QR Code) e na Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) construído com o propósito de atender aos regulamentos internacionais
Modeling and implementation of the vegetable supply chain traceability system	Hu, J., Zhang, X., Moga, L. M., & Neculita, M. (2013)	China e Romênia	Food Control (Elsevier)	Propõe um sistema de rastreabilidade para gestão da qualidade na cadeia de abastecimento de vegetais que permite o monitoramento constante dos parâmetros críticos utilizando código de barras bidimensional (QR Code) e tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID)
A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills.	Qian, J.-P., Yang, X.-T., Wu, X.-M., Zhao, L., Fan, B.-L., & Xing, B. (2012)	China	Computers and Electronics in Agriculture (Elsevier)	Propõe um sistema de rastreabilidade para moinhos de farinha de trigo para aumentar a segurança e reduzir os custos associados a recalls utilizando código de barras bidimensional (QR Code) e tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID).
A PDA-based record-keeping and decision-support system for traceability in cucumber production	Li, M., Qian, J.-P., Yang, X.-T., Sun, C.-H., & Ji, Z.-T. (2010)	China	Computers and Electronics in Agriculture (Elsevier)	Propõe um sistema de apoio à decisão (PDA) e manutenção de registros para rastreabilidade de dados da produção a partir de uma plataforma móvel, acoplada ao Sistema de Informação Geográfica (GSI), que permite orientar o uso controlado de fertilizantes e

Fonte: Autores (2020).

Para melhor discutir os achados encontrados na literatura, o estudo foi organizado nos seguintes subgrupos: 3.1 Aspectos envolvidos no uso da rastreabilidade na cadeia produtiva de alimentos; 3.2 Principais tecnologias de rastreabilidade disponíveis para o setor agrícola e; 3.3 Rastreabilidade na cadeia de alimentos e o controle de resíduos de agrotóxicos.

3.1 Aspectos envolvidos no uso da rastreabilidade na cadeia produtiva de alimentos

Segundo Hu et al. (2013), para desvendar os pontos críticos que envolvem a produção de um alimento é importante rastrear seu percurso ao longo da cadeia produtiva. A capacidade de rastrear as unidades individuais de produtos depende de um sistema de rastreabilidade eficiente que, por sua vez, depende dos sistemas internos de gerenciamento de dados e da troca de informações entre os atores da cadeia de suprimentos.

Face ao crescente processo de globalização e aumento dos riscos à segurança alimentar, a Organização Internacional para Padronização, por meio da ISO 22005:2007, editou padrões internacionais com princípios e requisitos básicos para implementação de um sistema de rastreabilidade na cadeia de rações e alimentos. O texto desta norma define o termo *tracking* ou "rastrear a jusante" como a capacidade de seguir o caminho de unidade específica de um produto por meio da cadeia de alimentos e *tracing* ou "rastrear a montante" como o meio de identificar a origem de uma unidade de produto ou lote, na cadeia de suprimentos, seguindo os registros efetuados (ISO, 2007).

A implementação de sistemas eficazes de rastreabilidade parece melhorar a capacidade de implementar a segurança em programas de conformidade de qualidade. Isso porque a visibilidade resultante das informações rastreáveis faz com que as empresas agroalimentares gerenciem melhor os riscos e atuem em situações de emergência, como por exemplo na retirada de produtos inseguros do mercado (*recalls*). Além disso, sistemas eficazes de rastreabilidade reduzem, significativamente, os tempos de resposta quando um surto de doença em um animal ou planta ocorre. Isso permite o acesso mais rápido a informações relevantes e confiáveis que ajudam a determinar a origem e a localização dos produtos envolvidos em qualquer ponto da cadeia de alimentos (CCI, 2015).

Para Dabbene, Gay e Tortia (2014), um sistema de rastreabilidade, associado com outras ferramentas, tais como análise dos perigos e pontos críticos de controle (APPCC), planejamento da produção e logística, pode levar a melhorias significativas no desempenho de toda a cadeia de abastecimento. De acordo com os autores, rastrear o histórico de um alimento, registrando com rigor as informações relacionadas ao seu deslocamento ao longo da rede de abastecimento, é essencial para as empresas. Contudo, a eficiência deste rastreamento não depende de uma única empresa, mas de acordos feitos entre grupos de empresas que se inter-relacionam, o que é motivado por diferentes propósitos. Entre os quais podem ser destacados: cumprimento de regulamentos, padrões internacionais; requisitos de certificações, implementação de estratégias de marketing e programas, atestado de origem geográfica, identidade e qualidade e; a necessidade de métodos eficazes para reagir contra a propagação de surtos alimentares.

O estudo de Pakurár et al. (2015), demonstrou que os compradores internacionais passaram a impor condições mais rígidas aos membros da cadeia de abastecimento e que essas costumam ser mais exigentes que as normas obrigatórias do próprio país. Segundo esses autores, a implantação de um sistema de controle e rastreabilidade passou a ser uma dessas condições, pois tornou-se um fator significativo para oferecer segurança e fornecer alimentos saudáveis.

De acordo com Badia-Melis, Mishra e Ruiz-García (2015) tanto a rastreabilidade, quanto a logística alimentar inteligente estão ganhando destaque na cadeia de suprimentos. Para Jedermann et al. (2014), enquanto a primeira seria parte integrante da segurança alimentar, qualidade e defesa dos alimentos com vistas a proteção dos consumidores, a segunda guarda relação com a redução do desperdício ao longo da cadeia de suprimentos, por meio da redução dos desvios da cadeia de frio e controle das variações na vida útil dos alimentos.

Bosona e Gebresenbet (2013) consideram que a busca por informações em tempo real passou a ser uma necessidade dos mercados contemporâneos, de modo que o desenvolvimento e a implementação de um sistema de rastreabilidade, apoiado por tecnologias de informação, pode melhorar o planejamento operacional e aumentar a eficiência dos processos de logística de alimentos.

Para Aung e Chang (2014), os sistemas de rastreabilidade atuam como um elemento de gerenciamento de suprimentos ou de controle de qualidade e segurança, de modo a fornecer informações que permitam verificar se os pontos de controle na cadeia de produção

ou de suprimento estão operando corretamente, permitindo a detecção precoce e respostas mais rápidas a eventuais problemas.

Saltini e Akkerman (2012), em estudo de caso envolvendo a cadeia de abastecimento de chocolate, afirmaram que, dependendo do tipo de beneficiamento, melhorar a rastreabilidade pode resultar na redução da magnitude de um *recall* de 55 a 96% em casos de contaminação da matéria-prima. De acordo com o estudo, embora o sistema possa aumentar a segurança alimentar, por outro lado pode impactar na redução da eficiência de produção.

Uma série de escândalos alimentares envolvendo contaminações e envenenamento de alimentos, fraudes na cadeia produtiva e questões sobre a forma de se produzir, reforçam a necessidade de se adotar o rastreamento de informações sobre os alimentos. Deste modo, todos os envolvidos na cadeia de suprimento de alimentos, desde sua origem, precisam conhecer o motivo e estar cientes de como esse registro deve ser feito e comunicado, de forma a garantir a qualidade das informações (Vanany et al., 2016).

Embora um sistema de rastreabilidade bem desenvolvido possa organizar a transmissão de informações ao longo de toda a cadeia de fornecimento e funcionar como uma ferramenta eficaz para garantir a qualidade dos alimentos, construir sistemas de rastreabilidade de alimentos com maior volume de informações é dispendioso e complexo, o que traz dificuldades financeiras para os fornecedores de informação (Bosona & Gebresenbet, 2013; Aung & Chang, 2014).

Em geral, as empresas de alimentos não estão motivadas a implementar novos padrões de troca e rastreabilidade de informações, pois percebem isso como um custo adicional e não estão dispostas a fazer alterações em suas práticas operacionais atuais. As empresas não têm uma imagem detalhada de seus processos internos, portanto, não podem quantificar os benefícios. Por sua vez, isso leva ao ceticismo sobre as vantagens de se implantar a rastreabilidade e constitui um fator importante no que diz respeito às rotas de implementação, seja pelas forças de mercado ou pela adequação regulatória (Storøy et al., 2013).

Brofman Epelbaum e Garcia Martinez (2014) afirmam que mesmo impulsionadas por normativas publicadas por órgãos reguladores, a implementação de inovações tecnológicas de rastreabilidade está mais associada a capacidade de decisão da empresa e aos recursos humanos envolvidos.

Outra questão que impacta na decisão de implantar sistemas de rastreabilidade está no interesse dos consumidores. Estudos conduzidos nos últimos anos apontam para o crescimento da demanda dos consumidores por qualidade e segurança na comercialização de

alimentos em todo o mundo (Andrade et al., 2013; Lu et al., 2016; Jin, Zhang & Xu, 2017; Liu et al., 2018).

Para Aung e Chang (2014), a expectativa dos consumidores por informações em tempo real sobre os produtos que eles compram e comem, crescerá e será uma das vantagens competitivas do marketing da indústria de alimentos, fazendo com que a rastreabilidade se apresente como um novo índice de qualidade e uma base para o comércio no futuro.

Um estudo realizado na Grécia evidenciou que cerca de 40% dos consumidores observam as informações sobre rastreabilidade nos rótulos dos alimentos e estão dispostos a pagar mais por essas informações. Dentre as preferências por informações nos rótulos de frutas e legumes, os consumidores consideraram mais importantes: o valor nutritivo (89,2%), a segurança alimentar (75,8%), a certificação (70,3%) e a designação de origem (67,7%) (Tsakirido et al., 2011).

Do ponto de vista do mercado, os sistemas de rastreabilidade podem resultar em demandas mais efetivas, uma prevalência de produtos que usam esse sistema e maiores lucros para as empresas devido a uma maior demanda por produtos mais seguros. Como resultado, as organizações empresariais envolvidas ao longo da cadeia de produção podem contribuir para um mercado de alimentos mais atrativo e mais seguro para os consumidores (Liu et al., 2018).

Em muitos casos, por exemplo, a rastreabilidade é utilizada para avaliar a denominação de origem geográfica de um alimento, como forma de avaliar a autenticidade de um produto, a segurança de uso, a tipicidade e a ausência de adulterações (Bevilacqua et al.; 2012; Versari et al.; 2014; González-Martín et al., 2014). Para Zhao et al. (2014), esses atributos são essenciais para avaliar a qualidade dos alimentos e garantir não somente valor agregado ao produto, como a proteção do consumidor.

Segundo Ding et al., (2015), apesar do crescimento do setor de varejo, não houve mudanças estruturais relevantes nas práticas das cadeias produtivas, isentando os produtores de responsabilidade após a venda dos produtos. Para esses autores, a capacidade de rastrear produtos frescos do varejo até sua origem agrícola permite que empresas e governos não só identifiquem fontes de contaminação e outros riscos potenciais envolvidos na cadeia, como façam exigências para que produtores e fornecedores cumpram os regulamentos de segurança alimentar.

Assim, as informações do produto e do processo devem ser registradas de forma sistemática para serem rastreáveis; em particular, as informações recebidas por uma empresa sobre a matéria-prima devem ser registradas e vinculadas ao lote de produção, que por sua

vez deve estar vinculado aos produtos distribuídos. Só então é possível recuperar informações sobre as matérias-primas dos produtos acabados (Karlsen et al., 2013).

Um sistema de rastreabilidade é eficaz quando produtos alimentícios podem ser completamente rastreados em toda a cadeia de abastecimento. A informação deve ser prontamente acessível para saber o que, quanto e de onde o produto precisa ser lembrado em caso de questões de segurança alimentar. A maioria das iniciativas de rastreabilidade dependem de tecnologias para fornecer eficiência, maneiras precisas de rastrear o produto e seu movimento através da cadeia. Isso inclui tecnologia para identificação de produtos, captura de informações, análise, armazenamento e transmissão de dados, bem como integração geral de sistemas (CCI, 2015).

Isso posto, o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de alimentos, que otimizem os processos industriais, trata-se de uma questão a ser enfrentada por todos os entes da cadeia produtiva, com vistas a atender à crescente demanda por alimentos de qualidade, seguros e sustentáveis (Sarti; Torres, 2017; Magalhães et al., 2019).

3.2 Principais tecnologias de rastreabilidade disponíveis para o setor agrícola

Diversos estudos sobre sistemas de rastreabilidade passaram a ser realizados para evidenciar tecnologias cada vez mais eficientes para capturar, armazenar e transmitir dados da cadeia produtiva. Magalhães et al. (2019), por exemplo, analisaram 69 tecnologias utilizadas para rastreabilidade na cadeia de alimentos e identificaram as cinco mais utilizadas: Tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID), Internet das Coisas (IoT); Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), Tecnologia de Ácido Desoxirribonucleico (DNA) e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC). Além dessas, serão abordadas neste estudo as demais tecnologias de rastreabilidade citadas na Tabela 1: Sistema Computação em Nuvem (Cloud-Based System), Código de Barras Bidimensional (QR Code), Sistema de Apoio à Decisão (PDA-base) e Sistema de Informação Geográfica (GSI).

A RFID é uma tecnologia que insere um chip capaz de ser identificado por meio da frequência das ondas de rádio emitidas (Kumari et al., 2015). Um sistema RFID consiste em uma etiqueta eletrônica que atua como um transmissor e receptor de sinal, ambos suportados por sistema decodificador (middleware); dados de identificação são armazenados na etiqueta e transferidos para o receptor de sinal por ondas de radiofrequência, isso para que o sistema processe os dados recebidos para a identificação e monitoramento do produto por meio da

cadeia de suprimentos ou dentro de um processo de manufatura (Musa & Dabo, 2016; Fuertes et al., 2016).

A tecnologia de RFID integrada a sensores é uma ferramenta promissora para uso em cadeias de alimentos perecíveis, cuja vida útil é curta. Com ela é possível, por exemplo, monitorar a temperatura e outras variáveis de qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças (como textura, sabor, valor nutritivo), de forma eficiente para a tomada de decisão na gestão da cadeia de distribuição, contribuindo para a redução de perdas qualitativas e quantitativas entre a colheita e o consumo (Badia-Melis et al., 2015; Spagnol et al., 2018, Carvalho, Nascimento & Nascimento-e-Silva, 2020). Como desvantagem, a RFID ainda é uma alternativa considerada dispendiosa comparada a outras tecnologias (Tzounis et al., 2017; Ping et al., 2018).

A IoT pode ser definida como um sistema de dispositivos de computação inter-relacionados, máquinas mecânicas e digitais, objetos, animais ou pessoas, que possuem identificadores exclusivos e capacidade de transferir dados em uma rede sem fio, sem a necessidade de interação humano-humano ou humano-computador. Os dispositivos IoT consistem em sistemas embarcados que interagem com sensores e atuadores. Esses sensores são usados para coletar, medir e monitorar informações, como temperatura do ar, temperatura do solo em várias profundidades, precipitação, umidade da folha, clorofila, velocidade do vento, temperatura do ponto de orvalho, direção do vento, umidade relativa, radiação solar, pressão atmosférica e outras variáveis agrícolas e fatores que afetam a produção (Tzounis et al., 2017; Elijah et al., 2018; Ping et al., 2018).

Para Yuan et al. (2020), tecnologias como a IoT, podem ser usadas na construção de um sistema de rastreabilidade da cadeia de suprimentos para rastreamento de alimentos em tempo real, o que poderia fornecer uma plataforma de informações para todos os membros da cadeia de suprimentos com segurança e transparência. Para Giri, Dutta e Neogy (2016), essa tecnologia também encontra uma série de limitações, que incluem, por exemplo, os custos de instalação, os custos para manter um provedor de serviços em nuvens e a necessidade de adquirir equipamentos mais sofisticados.

A RSSF consiste em um grande número de pequenos nodos sensores autônomos distribuídos para monitorar e transmitir informações sobre condições físicas e ambientais. Esses sensores operam com energia limitada de baterias para executar uma tarefa em comum ou monitorar uma área de interesse. Cada nó tem um ou mais sensores pequenos com processadores embutidos e transceptores de rádio de baixa potência para detectar eventos externos. Ao longo dos anos, essa tecnologia tem sido usada na agricultura inteligente, no

monitoramento ambiental, na agricultura de precisão, na automação e na rastreabilidade (Ping et al., 2018; Elijah et al., 2018). A principal limitação desta tecnologia está associada à vida útil dos nodos sensores, de modo que a instalação destes em áreas remotas pode prejudicar a manutenção e a recarga de energia, resultando em falhas nos sensores (Loureiro, 2018).

Um campo promissor para tecnologias de rastreabilidade está no desenvolvimento de outros tipos de sensores para registrar ou capturar informações, tais como os biométricos (Mahmoudpour et al., 2020); os biossensores (Liu, Zheng & Li, 2012; Liu, Dong & Deng, 2016; Zhao et al., 2018); os sensores óticos (Yan, Li & Su, 2018) e os nanosensores (Fuertes et al., 2016). Os autores afirmam que esses dispositivos podem fornecer uma opção flexível e viável para substituir outros conceitos existentes, que em sua maioria são caros, complexos e exigem procedimentos mais demorados.

A tecnologia de DNA consiste na obtenção de uma sequência curta específica de DNA, extraída por diferentes técnicas, que contém informações do elemento ou organismo a ser rastreado. Essa sequência gera um marcador que persiste nos alimentos, mesmo após processos físicos e químicos. Além disso, o DNA ou código de barras de DNA, como tem sido denominado, também permite a detecção de uma baixa concentração de adulterantes biológicos (Pirondini et al., 2010).

Métodos de rastreamento baseados em código de barras de DNA são considerados sensíveis, rápidos, baratos e confiáveis para matérias-primas e produtos derivados de *commodities* alimentares, e para detectar alérgenos ou componentes venenosos, potencialmente, de ocorrência em matrizes alimentares (Galimberti et al., 2013; Galimberti et al., 2015). A maioria dos problemas associados a essa técnica está relacionada com a reprodutibilidade dos experimentos em diferentes laboratórios e semelhança de estruturas de diferentes organismos (homologia) (Binneck, Nedel & Dellagostin, 2002).

O APPCC é uma ferramenta utilizada para identificar perigos ainda na fase de cultivo, traçar medidas de controle, monitorar riscos e propor ações corretivas que podem afetar a inocuidade de um alimento. Para estabelecer medidas de controle em alguma etapa da cadeia produtiva de alimentos os registros obtidos do APPCC são essenciais, cuja principal dificuldade de aplicação está na conscientização da sua importância e a necessidade de frequentes treinamentos por parte dos colaboradores (Tian, 2017).

O QR Code é um código de barras bidimensional (2D) que permite que todos os usuários insiram um código de rastreabilidade e recuperem as informações de rastreabilidade de produtos agrícolas ao longo da cadeia produtiva. Por meio dessa tecnologia, os

consumidores, departamentos governamentais, importadores e exportadores podem consultar informações agrícolas (cultivo, processamento, inspeção, armazenamento, transporte e venda de produtos) a qualquer hora e em qualquer tempo, por meio de sites, smartphones e outros terminais de consultas (Li, Liu & Gao, 2017; Xueyuan & Bo, 2018).

O QR Code apresenta grande capacidade de armazenamento de caracteres alfanuméricos, menor custo, permite *download* gratuito na maioria dos terminais móveis, pode ser impresso diretamente na embalagem do produto e permite verificar, em tempo real, a originalidade, a qualidade das informações de certificação e as informações falsas ou de erros nos produtos. (Qiao, Wei & Yang, 2013).

Nos últimos anos, as tecnologias de computação em nuvem (Cloud-Based System) avançaram gradualmente e têm sido aplicadas em vários setores. O armazenamento em nuvem é uma tecnologia que permite guardar dados na internet através de um servidor online sempre disponível. Quando um sistema autônomo ou software é combinado com tecnologia de nuvem, uma rede pode fornecer um serviço compartilhado para vários usuários. O provedor de serviços desta rede tem a capacidade de armazenar e analisar dados em grande volume (big data), o que facilita a toma de decisões por parte das empresas (Chen, Chang & Lin, 2016). Essa tecnologia revolucionou os aplicativos de computação na última década e passou a oferecer vantagens como custos de operação reduzidos, consolidação do servidor, sistema de configuração flexível e maior provisionamento de recursos (Qian et al., 2018).

Outra ferramenta útil para otimização da cadeia produtiva de alimentos é o sistema GSI, que pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Essas atividades são executadas por sistemas (softwares) destinados ao processamento de dados georreferenciados desde a sua coleta até a geração de produtos como mapas relatórios e arquivos digitais, oferecendo recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise dos dados (Silva, 2007).

3.3 Rastreabilidade na cadeia de alimentos e o controle de resíduos de agrotóxicos

Embora a carga total de riscos químicos para a saúde não seja conhecida, as doenças transmitidas por alimentos têm aumentado em todo o mundo como resultado da ampliação da quantidade de alimentos no mercado e do aumento da distância entre o local de produção, comercialização e consumo (Grace, 2015).

O uso generalizado de produtos químicos ou de produtos químicos obsoletos, perigosos e proibidos, bem como de produtos químicos acima dos níveis permitidos em alimentos, levantam evidências sólidas de impactos dessas substâncias sobre a saúde de agricultores e consumidores (EFSA, 2014; Carneiro et al., 2015; Guyton et al., 2015).

O risco da presença de resíduos de agrotóxicos em alimentos está associado a uma série de práticas agrícolas incorretas, em especial, ao manejo inadequado de pragas e doenças, ao uso de produtos químicos proibidos em alta dosagem, a pulverização do produto químico diretamente sobre a produção, a existência de mão de obra não treinada, a disposição do recipiente de resíduos junto ao fluxo de água e ao uso do produto químico para acelerar o amadurecimento da cultura e da colheita do alimento logo após a aplicação dos agrotóxicos (Singh et al., 2017).

Para Fang e Zhu (2014), fertilizantes foliares, agentes de maturação, agrotóxicos e outros materiais de pulverização, são as principais fontes de contaminação química em alimentos vegetais e estão sendo encontrados em níveis acima dos padrões de segurança, especialmente em frutas. De acordo com esses autores, tanto a taxa quanto o momento da aplicação de produtos químicos devem ser rigorosamente controlados, uma vez que a pulverização de agroquímicos durante a floração e maturação dos frutos é um dos motivos da introdução direta dessas substâncias nos alimentos.

A mitigação do risco associado a presença de resíduos de agrotóxicos em alimentos está associada não somente a rastreabilidade, mas a implementação do manejo integrado de pragas, o que inclui evitar o uso de produtos químicos proibidos, adequar a dosagem do agrotóxico, direcionar a pulverização somente à área afetada pela doença, treinar constantemente a mão de obra, destinar as embalagens de forma correta, colher somente após o período de carência, entre outros (Singh et al., 2017).

Com a crescente preocupação da sociedade quanto aos riscos presentes nos agrotóxicos, os governos passaram a instituir regulamentações contendo limites máximos de resíduos (LMR) permitidos nos alimentos. As diretrizes dos países membros da União Europeia (UE) para o sistema alimentar, por exemplo, compreendem não apenas o desenvolvimento de abordagens integradas eficazes para estabelecer, promover e apoiar uma cadeia alimentar sustentável, mas também inclui medidas para garantir a integridade em termos de segurança e qualidade alimentar (UE, 2017).

Entre as medidas, os países da UE desenvolveram um Sistema de Alerta Rápido para Alimentos e Rações (RASFF), criado para fornecer informações às autoridades responsáveis pelo controle de alimentos sobre perigos nesses produtos. As informações são

disponibilizadas de forma estruturada por meio de uma plataforma online, que possibilita que os países tomem decisões mais rápidas e de forma coordenada frente aos casos graves de perigos detectados em alimentos que venham a representar riscos para a saúde humana ou animal. O último relatório de monitoramento, publicado em 2018, demonstrou que 237 notificações estavam relacionadas à presença irregular de resíduos de agrotóxicos em alimentos, um aumento de 27% em relação ao ano anterior. A maior parte dessas notificações referem-se a não conformidades na presença de substâncias encontradas acima do LMR em frutas e hortaliças. Das 237 notificações, um total de 154 resultou em rejeições nas fronteiras dos países membros da UE e devoluções dos produtos ao país de origem (UE, 2019).

A UE também desenvolveu a TraceFood Framework, que é uma colaboração conjunta de projetos financiados pelos países membros com foco na implementação de sistemas de rastreabilidade de produtos alimentícios. O TraceFood Framework foi projetado para fornecer um padrão internacional, sem propriedade, para troca eletrônica de dados relacionados à rastreabilidade de alimentos. A estrutura consiste nos seguintes componentes: princípio das identificações únicas; documentação de transformações de unidades; linguagem genérica para troca eletrônica de informações; idioma específico do setor para troca eletrônica de informações; diretrizes genéricas para implementação da rastreabilidade e; diretrizes específicas do setor para implementação da rastreabilidade (Storøy et al., 2013).

Liu, Kerr e Hobbs (2012) relataram que, em 2002, a UE proibiu a importação de produtos aquáticos da China, país que exporta cerca de 3,06 milhões de toneladas de produtos aquáticos por ano, alegando que os resíduos de medicamentos veterinários, agrotóxicos e metais pesados detectados nos alimentos excediam os limites permitidos pela UE. No intuito de reduzir as perdas financeiras e restaurar sua reputação junto aos mercados internacionais, a China precisou reagir rapidamente e promulgou uma série de regulamentações de segurança alimentar, passando a investir mais em: criação de sistemas de rastreabilidade, inspeção de alimentos, certificação e rotulagem de alimentos.

Em um estudo realizado por Liao, Chang e Chang (2011), com o objetivo de investigar a baixa adesão de agricultores ao programa de rastreabilidade de alimentos, criado pelo governo de Taiwan em 2004 para monitorar resíduos de agrotóxicos em frutas e hortaliças, foram evidenciadas falhas importantes de comunicação e de conscientização dos participantes. De acordo com o estudo, passados 6 anos, 65% dos agricultores não tinham conhecimento do programa e apenas 9,4% dos produtores realizavam os testes para presença de resíduos de agrotóxicos. O estudo comprovou que como os testes para resíduos de

agrotóxicos não eram obrigatórios, participaram do programa somente aqueles que buscavam a certificação de seus produtos.

Qian et al. (2018) descreveram e testaram o desenvolvimento de uma plataforma baseada em nuvem para o uso racional de agrotóxicos em diferentes culturas alimentares. O sistema incluiu uma plataforma de controle de uso de agrotóxicos, que orienta interativamente os usuários através das etapas de compra de agrotóxicos, aplicação de agrotóxicos, tempo de colheita e avaliação de agrotóxicos. O sistema foi utilizado por cerca de um ano e agregou vantagens na qualidade e na segurança dos vegetais. As desvantagens segundo os autores, incluíram aumento de custos e redução da eficiência.

Um estudo de modelagem conduzido por Singh et al., (2017) sobre a rastreabilidade na cadeia de produção da uva mostrou que a garantia da segurança no uso de agrotóxicos exige a implantação de um sistema integrado de rastreabilidade. Este sistema deve permitir: (a) identificação, coleta e documentação das informações de produção, trânsito ou distribuição e consumo; (b) exibição de informações disponíveis e rastreamento dos destinos originais; (c) capturar partes interessadas envolvidas e suas respectivas funções e responsabilidades, estabelecendo assim a prestação de contas e (d) permitir uma abordagem estruturada e orientada para o processo formal, visando a gestão abrangente de segurança alimentar e o controle dos riscos. Considerando esses preceitos, os autores propuseram um sistema integrado de gerenciamento e rastreabilidade com o uso do código de barras bidimensional (QR Code), que permite detectar os pontos de contaminação por pesticidas ou pontos de falhas na segurança alimentar na cadeia produtiva.

Um estudo envolvendo a rastreabilidade eletrônica de frutas (FETS), no caso mangas, para exportação, colhidas na Indonésia a partir da implantação de um sistema de rastreabilidade eletrônica, demonstrou que é possível verificar informações sobre a existência de certificação para alimentos livres de agrotóxicos, data de validade e outros. Além disso, o consumidor também pode verificar a autenticidade do produto, a localização e os métodos de cultivo, inclusive nos casos em que são identificados como 'orgânicos', 'produção sustentável' ou 'comércio justo'. Contudo, os resultados demonstram que ao longo da cadeia existem limitações relacionadas ao poder econômico e a competência tecnológica de pequenas empresas para implantação do sistema e que a maioria dos operadores não estava familiarizada com o uso de um *scanner* de código de barras para operar o *software* (Vanany et al., 2016).

Hu et al. (2013), propuseram um sistema de rastreabilidade para gestão da qualidade na cadeia de abastecimento de vegetais que permite o monitoramento constante dos

parâmetros críticos utilizando código de barras bidimensional (QR Code) e tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID). O uso de agroquímicos estão entre os parâmetros que podem ser monitorados por esta tecnologia. Contudo, todos os envolvidos na cadeia de abastecimento de alimentos de origem vegetal devem armazenar as informações necessárias relacionadas ao produto alimentar que vinculam os insumos com as saídas, para que, quando demandadas, as informações possam ser fornecidas às autoridades fiscalizadoras em tempo hábil. Os testes indicam que o sistema pode ser uma ferramenta eficaz de gestão da qualidade de produtos vegetais. Além de contribuir para a segurança durante o processo de produção, a partir do monitoramento constante dos parâmetros críticos.

Em estudo, realizado por Qian et al. (2012), os autores desenvolveram um sistema de rastreabilidade para farinha de trigo utilizando código de barras bidimensional (QR Code) acoplado à tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID). O sistema permite a inserção de informações sobre o uso de agrotóxicos nos alimentos. O estudo demonstrou que, embora o custo total da aplicação desta tecnologia tenha aumentado o investimento da empresa em 17,2%, ocorreu uma elevação substancial nas vendas dos produtos em 32,5%. Os achados demonstraram que o consumidor chinês tem interesse na compra de alimentos rastreáveis.

Li et al. (2010), desenvolveram uma plataforma móvel ligada à internet e acoplada a um Sistema de Informação Geográfica (GIS) para rastreabilidade na produção de pepino. Com base nesse modelo, foram criadas funções que permitem mapear e gerenciar dados, manter registros de produção e dar suporte para consulta e tomada de decisão. O sistema permite orientar o uso de fertilizantes de acordo com as recomendações e emite avisos prévios para uso de agrotóxico em caso de infecção por míldio, praga considerada como um fator crítico para a segurança da qualidade do pepino.

Nessa direção, torna-se fundamental a promoção de ações políticas e governamentais para segurança dos alimentos, que incentivem empresas a adotarem sistema de rastreabilidade para o controle de agrotóxicos na cadeia produtiva de alimentos vegetais (Liu et al., 2018); bem como o desenvolvimento de meios de identificação dos pontos críticos ao longo da cadeia, a construção de um sistema regulatório com uma clara cadeia de comando e divisão do trabalho entre os órgãos reguladores; a adoção de padrões de segurança comuns a todos os países e a disponibilização de tecnologias de medição rápida e precisa dos indicadores de segurança alimentar (Lam et al., 2013).

4. Considerações Finais

Perante os achados da literatura, a adoção de sistemas de rastreabilidade por parte dos entes envolvidos na cadeia de produção de alimentos está associada, principalmente às exigências legais e aos aspectos logísticos. Embora esses sistemas ainda sejam vistos como complexos e de alto custo, passaram a agregar valores não somente à eficiência de processos de logística, mas à segurança sanitária e às características do mercado consumidor.

A revisão evidenciou o surgimento e o aprimoramento de tecnologias voltadas para sistemas de rastreabilidade de alimentos. Mecanismos que utilizam dispositivos móveis, armazenam dados em nuvem, que usam inteligência artificial para análise dos dados e que transmitem informações em tempo real usando a internet, já são uma realidade. Com essas tecnologias é possível estabelecer um fluxo seguro e possibilitar autenticidade, precisão, eficiência e transparência aos sistemas de rastreabilidade de alimentos.

O estudo também permitiu observar que a demanda dos consumidores por mais transparência e segurança na cadeia produtiva de alimentos e o estabelecimento de mecanismos regulatórios internacionais de rastreabilidade sob *commodities* alimentares têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais modernas e acessíveis. Por outro lado, são poucas as iniciativas para tornar a rastreabilidade uma ferramenta de segurança e controle de resíduos de agrotóxicos em alimentos vegetais.

Pesquisas futuras podem ser direcionadas para os fatores de risco gerenciais que afetem a qualidade das informações de rastreabilidade, aspectos da legislação sanitária e em novas soluções capazes de garantir um maior controle sobre o uso de agrotóxicos em alimentos e de responsabilização dos atores envolvidos na cadeia produtiva.

Referências

- Andrade, J. C. de, Deliza, R., Yamada, E. A.; Galvão, M. T. E. L., Frewer, L. J., & Beraquet, N. J. (2013). Percepção do consumidor frente aos riscos associados aos alimentos, sua segurança e rastreabilidade. *Braz. J. Food Technol.*, 16 (3), 184-191. <https://doi:10.1590/S1981-67232013005000023>
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*, 39, 172-184. [https://doi: 10.1016/j.foodcont.2013.11.007](https://doi:10.1016/j.foodcont.2013.11.007)

Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar. (2014). The 2011 European Union Report on Pesticide Residues in Food, *EFSA Journal*,12(5), 3694. <https://doi:10.2903/j.efsa.2014.3694>.

Badia-Melis, R., Mishra, P., & Ruiz-García, L. (2015). Food traceability: New trends and recent advances. A review. *Food Control*, 57, 393–401. <https://doi:10.1016/j.foodcont.2015.05.005>

Bevilacqua, M., Bucci, R., Magrì, A. D., Magrì, A. L., & Marini, F. (2012). Tracing the origin of extra virgin olive oils by infrared spectroscopy and chemometrics: A case study. *Analytica Chimica Acta*, 717, 39–51. <https://doi:10.1016/j.aca.2011.12.035>

Binneck, E., Nedel, J. L., & Dellagostin, O. A. (2002). Análise de RAPD na identificação de cultivares: uma metodologia útil? *Revista Brasileira de Sementes*, 24(1), 183-196. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222002000100027>

Bombardi, L. M. *Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia*. São Paulo: FFLCH - USP, 2017. 296 p.

Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2013). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food Control*, 33(1), 32–48. <https://doi:10.1016/j.foodcont.2013.02.004>

Brofman Epelbaum, F. M., & Garcia Martinez, M. (2014). The technological evolution of food traceability systems and their impact on firm sustainable performance: A RBV approach. *International Journal of Production Economics*, 150, 215–224. <https://doi:10.1016/j.ijpe.2014.01.007>

Cao, Y., Liu, X., Guan, C., & Mao, B. (2017). Implementation and Current Status of Food Traceability System in Jiangsu China. *Procedia Computer Science*, 122, 617–621. <https://doi:10.1016/j.procs.2017.11.414>

Carneiro, F. F., Rigotto, R. M., Augusto, L. G. S., Friedrich, K., & Búrigo, A. C. (Org.). (2015). *Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde*. Rio de Janeiro: EPSJV, São Paulo: Expressão Popular.

Carson, R. (2010). *Primavera Silenciosa* (Martins, C. S., Trad.) (1a ed.). São Paulo: Gaia.

Carvalho, L. S. P., Nascimento, J. F. de L., & Nascimento-e-Silva, D. (2020). Rastreamento na entrega de produtos utilizando RFID portátil com arduino. *Research, Society and Development*, 9(10), e7529109298. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9298>

Centro de Comércio Internacional (CCI). *Traceability in food and Agricultural products*. Bulletin n.º 91/2015, Geneva: CCI; Recuperado de https://www.intracen.org/uploadedfiles/intracenorg/content/exporters/exporting_better/quality_management.

Chen, H.-M., Chang, K.-C., Lin, & T.-Hsi (2016). A cloud-based system framework for performing online viewing, storage, and analysis on big data of massive BIMs. *Automation in Construction*, S0926580516300413, 1-15. <https://doi:10.1016/j.autcon.2016.03.002>

Ciscato, C. H. P., Bertoni Gebara, A., & Henrique Monteiro, S. (2009). Pesticide residue monitoring of Brazilian fruit for export 2006–2007. *Food Additives and Contaminants: Part B*, 2(2), 140–145. <https://doi:10.1080/19440040903330326>

Dabbene, F., Gay, P., & Tortia, C. (2014). Traceability issues in food supply chain management: A review. *Biosystems Engineering*, 120, 65–80. <https://doi:10.1016/j.biosystemseng.2013.09.006>

Ding, J., Huang, J., Jia, X., Bai, J., Boucher, S., & Carter, M. (2015). Direct farm, production base, traceability and food safety in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(11), 2380–2390. [https://doi:10.1016/s2095-3119\(15\)61127-3](https://doi:10.1016/s2095-3119(15)61127-3)

Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 1–1. <https://doi:10.1109/jiot.2018.2844296>

Fang, B., & Zhu, X. (2014). High content of five heavy metals in four fruits: Evidence from a case study of Pujiang County, Zhejiang Province, China. *Food Control*, 39, 62–67. <https://doi:10.1016/j.foodcont.2013.10.039>

Fuertes, G., Soto, I., Carrasco, R., Vargas, M., Sabattin, J., & Lagos, C. (2016). Intelligent Packaging Systems: Sensors and Nanosensors to Monitor Food Quality and Safety. *Journal of Sensors*, 2016, 1–8. <https://doi:10.1155/2016/4046061>

Galimberti, A., Bruno, A., Mezzasalma, V., De Mattia, F., Bruni, I., & Labra, M. (2015). Emerging DNA-based technologies to characterize food ecosystems. *Food Research International*, 69, 424–433. <https://doi:10.1016/j.foodres.2015.01.017>

Galimberti, A., De Mattia, F., Losa, A., Bruni, I., Federici, S., Casiraghi, M., Martellos S., & Labra, M. (2013). DNA barcoding as a new tool for food traceability. *Food Research International*, 50(1), 55–63. <https://doi:10.1016/j.foodres.2012.09.036>

Gebara, A. B., Ciscato, C. H. P., da S. Ferreira, M., & Monteiro, S. H. (2005). Pesticide Residues in Vegetables and Fruits Monitored in São Paulo City, Brazil, 1994–2001. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 75(1), 163–169. <https://doi:10.1007/s00128-005-0733-9>

Giri, A., Dutta, S., & Neogy, S. (2016). Enabling agricultural automation to optimize utilization of water, fertilizer and insecticides by implementing Internet of Things (IoT). 2016 *International Conference on Information Technology (InCITe)* - The Next Generation IT Summit on the Theme - Internet of Things: Connect Your Worlds. <https://doi:10.1109/incite.2016.7857603>

González-Martín, M. I., Wells Moncada, G., González-Pérez, C., Zapata San Martín, N., López-González, F., Lobos Ortega, I., & Hernández-Hierro, J.-M. (2014). Chilean flour and wheat grain: Tracing their origin using near infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Chemistry*, 145, 802–806. <https://doi:10.1016/j.foodchem.2013.08.103>

Grace, D. (2015). Food Safety in Low and Middle Income Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(9), 10490–10507. <https://doi:10.3390/ijerph120910490>

Guyton, K. Z., Loomis, D., Grosse, Y., El Ghissassi, F., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., & Straif, K. (2015). Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology*, 16(5), 490–491. [https://doi:10.1016/s1470-2045\(15\)70134-8](https://doi:10.1016/s1470-2045(15)70134-8)

Hu, J., Zhang, X., Moga, L. M., & Neculita, M. (2013). Modeling and implementation of the vegetable supply chain traceability system. *Food Control*, 30(1), 341–353. <https://doi:10.1016/j.foodcont.2012.06.037>

Jedermann, R., Nicometo, M., Uysal, I., & Lang, W. (2014). Reducing food losses by intelligent food logistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372, 20130302. <https://doi:10.1098/rsta.2013.0302>

Jin, S., Zhang, Y., & Xu, Y. (2017). Amount of information and the willingness of consumers to pay for food traceability in China. *Food Control*, 77, 163–170. <https://doi:10.1016/j.foodcont.2017.02.012>

Karlsen, K. M., Dreyer, B., Olsen, P., & Elvevoll, E. O. (2013). Literature review: Does a common theoretical framework to implement food traceability exist? *Food Control*, 32(2), 409–417. <https://doi:10.1016/j.foodcont.2012.12.011>

Kumari, L., Narsaiah, K., Grewal, M. K., & Anurag, R. K. (2015). Application of RFID in agri-food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 43(2), 144–161. <https://doi:10.1016/j.tifs.2015.02.005>

Lam, H.-M., Remais, J., Fung, M.-C., Xu, L., & Sun, S. S.-M. (2013). Food supply and food safety issues in China. *The Lancet*, 381(9882), 2044–2053. [https://doi:10.1016/s0140-6736\(13\)60776-X](https://doi:10.1016/s0140-6736(13)60776-X)

Li, J., Liu, Y., & Gao, H. (2017). Requirement Analysis for the Collaborative Supply and Logistics Management of Fresh Agricultural Products. *Web of Conferences*, ITA. 2017. <https://doi:10.1051/itmconf/201712011026>

Li, M., Qian, J.-P., Yang, X.-T., Sun, C.-H., & Ji, Z.-T. (2010). A PDA-based record-keeping and decision-support system for traceability in cucumber production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1), 69–77. <https://doi:10.1016/j.compag.2009.09.009>

Liao, P.-A., Chang, H.-H., & Chang, C.-Y. (2011). Why is the food traceability system unsuccessful in Taiwan? Empirical evidence from a national survey of fruit and vegetable farmers. *Food Policy*, 36(5), 686–693. <https://doi:10.1016/j.foodpol.2011.06.010>

Liu, C., Li, J., Steele, W., & Fang, X. (2018). A study on Chinese consumer preferences for food traceability information using best-worst scaling. *PLOS ONE*, 13(11), e0206793. <https://doi:10.1371/journal.pone.0206793>

Liu, H., Kerr, W. A., & Hobbs, J. E. (2012). A review of Chinese food safety strategies implemented after several food safety incidents involving export of Chinese aquatic products. *British Food Journal*, 114(3), 372–386. <https://doi:10.1108/00070701211213474>

Liu, K., Dong, H., & Deng, Y. (2016). Recent Advances on Rapid Detection of Pesticides Based on Enzyme Biosensor of Nanomaterials. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16(7), 6648–6656. <https://doi:10.1166/jnn.2016.11392>

Liu, S., Zheng, Z., & Li, X. (2012). Advances in pesticide biosensors: current status, challenges, and future perspectives. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405(1), 63–90. <https://doi:10.1007/s00216-012-6299-6>

Loureiro, A. A. F. Redes de Sensores Sem Fio. *Grandes desafios da pesquisa em computação no Brasil 2006 - 2016*. Sociedade Brasileira de Computação, 2018. Recuperado de <https://www.gta.ufrj.br/rebu/arquivos/SBC-Grandes.pdf>

Lu, J., Wu, L., Wang, S., & Xu, L. (2016). Consumer preference and demand for traceable food attributes. *British Food Journal*, 118(9), 2140–2156. <https://doi:10.1108/bfj-12-2015-0461>

Magalhães, A. E. V., Rossi, A. H. G., Zattar, I. C., Marques, M. A. M., & Seleme, R. (2019). Food traceability technologies and foodborne outbreak occurrences. *British Food Journal*, 121(12), 3362-3379. <https://doi:10.1108/BFJ-02-2019-0143>

Mahmoudpour, M., Torbati, M., Mousavi, M.-M., Guardia, M. de la, & Nazhad Dolatabadi, J. E. (2020). Nanomaterial-based molecularly imprinted polymers for pesticides detection: Recent trends and future prospects. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 115943. <https://doi:10.1016/j.trac.2020.115943>

Musa, A., & Dabo, A.-A. A. (2016). A Review of RFID in Supply Chain Management: 2000–2015. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 17(2), 189–228. <https://doi:10.1007/s40171-016-0136-2>

Organização Internacional para Padronização (2007). *ISO22005:2007: traceability in feed and food chain: general principles and basic requirements for system design and implementation*. Brussels, Belgium. European Standard, Committee for Standardization, EN. ISO 22005:2007.

Organização Mundial da Saúde (2015). *Estimativas da OMS da carga global de doenças transmitidas por alimentos: grupo de referência epidemiológica da carga de doenças transmitidas por alimentos 2007-2015*. Geneva: OMS. Recuperado de https://www.who.int/foodsafety/publications/foodborne_disease/fergreport/en/

Pakurár, M., Kovács, S., Popp, J., & Vántus, A. (2015). Innovative solutions in traceability to improve the competitiveness of a local fruit and vegetable retailing system, *Amfiteatru Economic Journal*, 17(39), 676-91. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10419/168941>.

Passos, F. R., & Reis, M. R. dos. (2013). Resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem vegetal: revisão. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, 23. 49-58. <https://doi:10.5380/pes.v23i0.35002>

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM.

Pigłowski, M. (2020). Food hazards on the European Union market: The data analysis of the Rapid Alert System for Food and Feed. *Food Sci Nutr*. 2020, 1-25. [https://doi: 10.1002/fsn3.1448](https://doi.org/10.1002/fsn3.1448)

Ping, H., Wang, J., Ma, Z., & Du, Y. (2018). Mini-review of application of IoT technology in monitoring agricultural products quality and safety. *Int J Agric & Biol Eng*, 11(5), 35-45. [https://doi:10.25165/j.ijabe.20181105.3092](https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181105.3092)

Pirondini, A., Bonas, U., Maestri, E., Visioli, G., Marmiroli, M., & Marmiroli, N. (2010). Yield and amplificability of different DNA extraction procedures for traceability in the dairy food chain. *Food Control*, 21(5), 663–668. [https://doi:10.1016/j.foodcont.2009.10.004](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.10.004)

Qiao, S., Wei, Z., Yang, Y. (2013). *Research on Vegetable Supply Chain Traceability Model Based on Two-Dimensional Barcode*. Sixth International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), 317–320. [https://doi:10.1109/ISCID.2013.86](https://doi.org/10.1109/ISCID.2013.86)

Qian, J.-P., Yang, X.-T., Wu, X.-M., Zhao, L., Fan, B.-L., & Xing, B. (2012). A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills. *Computers and Electronics in Agriculture*, 89, 76–85. [https://doi:10.1016/j.compag.2012.08.004](https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.08.004)

Qian, J., Shi, C., Wang, S., Song, Y., Fan, B., & Wu, X. (2018). Cloud-based system for rational use of pesticide to guarantee the source safety of traceable vegetables. *Food Control*, 87, 192–202. [https://doi:10.1016/j.foodcont.2017.12.015](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.015)

Saltini, R., & Akkerman, R. (2012). Testing improvements in the chocolate traceability system: Impact on product recalls and production efficiency. *Food Control*, 23(1), 221–226. [https://doi:10.1016/j.foodcont.2011.07.015](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.07.015)

Sarti, F. M., & Torres, E. A. F. da S. (Org.). (2017). *Nutrição e Saúde Pública: produção e consumo de alimentos*. Barueri: São Paulo, Manole.

Schreinemachers, P., & Tipraqsa, P. (2012). Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy*, 37(6), 616–626. <https://doi:10.1016/j.foodpol.2012.06.003>

Silva da, R. M. *Introdução ao geoprocessamento: conceitos, técnicas e aplicações*. Novo Hamburgo/RS, Feevale, 2007. p.176.

Singh, D., Karthik, S., Nar, S., & Piplani, D. (2017). Food Traceability and Safety: From Farm to Fork: A Case Study of Pesticide Traceability in Grapes. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 4(1), 40-17. <https://doi:10.18178/joaat.4.1.40-47>

Souza, M.T. de, Silva, M. da, & Carvalho, R. de (2010). Integrative review: what is it? How to do it? *Einstein*, 8(1), 102–106. <https://doi:10.1590/s1679-45082010rw1134>

Spagnol, W. A., Silveira Junior, V., Pereira, E., & Guimarães Filho, N. (2018). Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21(0), e2016070. <https://doi:10.1590/1981-6723.07016>

Storøy, J., Thakur, M., & Olsen, P. (2013). The TraceFood Framework – Principles and guidelines for implementing traceability in food value chains. *Journal of Food Engineering*, 115(1), 41–48. <https://doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.09.018>

Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. *2017 International Conference on Service Systems and Service Management*. <https://doi:10.1109/icsssm.2017.7996119>

Tsakiridou, E., Mattas, K., Tsakiridou, H., & Tsiamparli, E. (2011). Purchasing Fresh Produce on the Basis of Food Safety, Origin, and Traceability Labels. *Journal of Food Products Marketing*, 17(2-3), 211–226. <https://doi:10.1080/10454446.2011.548749>

Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31–48. <https://doi:10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>

União Europeia. (2017). *Introduction to EC Pesticides Residues Legislation*. European Union: Brussels. Recuperado de: <http://www4.ujaen.es/~ajmoya/material_docente/introd.pdf>

União Europeia. (2019). *The Rapid Alert System for Food and Feed 2018: annual report*. Luxemburgo: European Union. Recuperado de https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/rasff_annual_report_2018.pdf

Ursi, E. S., & Gavão, C. M. (2006). Prevenção de lesões de pele no perioperatório: revisão integrativa da literatura. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 14(1), 124–131.

Vanany, I., Mardiyanto, R., Ijtihadie, R. M., Andri, K. B., & Engelseth, P. (2016). Developing electronic mango traceability in Indonesia. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 17(1), 26–38. <https://doi:10.1080/16258312.2016.1143206>

Versari, A., Laurie, V. F., Ricci, A., Laghi, L., & Parpinello, G. P. (2014). Progress in authentication, typification and traceability of grapes and wines by chemometric approaches. *Food Research International*, 60(0), 2-18. <https://doi:10.1016/j.foodres.2014.02.007>

Xueyuan, W., & Bo, Y. (2018). Research and Design of Traceability Sistem of Agricultural Products. *International Conference on Engineering Simulation and Intelligent Control*, <https://doi:10.1109/ESAIC.2018.00097>

Yan, X., Li, H., & Su, X. (2018). Review of optical sensors for pesticides. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 103, 1–20. <https://doi:10.1016/j.trac.2018.03.004>

Yuan, C., Wang, S., & Yu, X. (2020). The impact of food traceability system on consumer perceived value and purchase intention in China. *Industrial Management & Data Systems*, 120(4), 810–824. <https://doi:10.1108/imds-09-2019-0469>

Zhao, F., Wu, J., Ying, Y., She, Y., Wang, J., & Ping, J. (2018). Carbon nanomaterial-enabled pesticide biosensors: Design strategy, biosensing mechanism, and practical application. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 106, 62–83. <https://doi:10.1016/j.trac.2018.06.017>

Zhao, Y., Zhang, B., Chen, G., Chen, A., Yang, S., & Ye, Z. (2014). Recent developments in application of stable isotope analysis on agro-product authenticity and traceability. *Food Chemistry*, 145, 300–305. <https://doi:10.1016/j.foodchem.2013.08.062>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Milton Cosme Ribeiro – 45%

Alisson Martins Ramos – 20%

Vanessa Alves Ferreira – 10%

Joice Rodrigues da Cunha – 10%

Camila Argenta Fante – 15%