

A DIGITALIZAÇÃO PODE SUPERRAR AS LEIS DE MERCADO? RASTREABILIDADE E PRECIFICAÇÃO TRANSPARENTE DE ALIMENTOS

DIEGO DURANTE MÜHL

UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

LETICIA DE OLIVEIRA

CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Resumo

Introdução A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 600 milhões de pessoas ficam doentes anualmente devido a alimentos contaminados, resultando em cerca de 420.000 mortes, das quais 125.000 são crianças com menos de 5 anos. A perda anual de anos de vida saudável devido ao consumo de alimentos inseguros é de aproximadamente 33 milhões (World Health Organization, 2015). Para enfrentar esses desafios, o desenvolvimento de soluções para rastreabilidade de alimentos tem sido uma prioridade. Sistemas de rastreabilidade melhoram a segurança alimentar ao permitir a identificação rápida de fontes de contaminação, fornecem transparência ao consumidor, facilitam a conformidade regulatória e aprimoram a gestão de recalls (Zhou; Xu, 2022). A rastreabilidade é realizada através da integração de tecnologias digitais que monitoram a localização e o estado dos produtos e identificam sua origem e características. Os sistemas mais comuns para designar uma Unidade de Recurso Rastreável (TRU) incluem códigos de barras 1D e 2D e RFID (identificação por radiofrequência). O código QR é frequentemente utilizado em produtos de baixo custo, como o leite, devido ao seu baixo custo operacional (Hassoun et al., 2024; Li et al., 2016; Zhou; Xu, 2022). O uso de blockchain tem potencial significativo para a rastreabilidade de produtos agrícolas, permitindo armazenamento de dados de forma transparente e automatizando processos com contratos inteligentes, embora haja necessidade de mais pesquisa sobre a interoperabilidade do blockchain com tecnologias emergentes (Ahamed; Vignesh, 2022; Bruel; Godina, 2023; Dos Santos; Torrisi; Pantoni, 2021; Kshetri, 2021; Sharma; Tripathi; Mittal, 2022). A insegurança alimentar está mais relacionada às desigualdades sociais e desperdício de alimentos do que à falta de alimentos em si (Bjornlund; Bjornlund; van Rooyen, 2022; Delgado Cabeza, 2010). No Brasil, mais de 33 milhões de pessoas estavam em situação de insegurança alimentar em 2021, representando 15,5% dos lares (Maluf et al., 2022). O manuscrito propõe um sistema de rastreabilidade que inclui a formação dos preços dos produtos ao longo da cadeia produtiva, oferecendo um novo nível de transparência aos consumidores. Metodologia O estudo é exploratório, descritivo e qualitativo, baseado em revisão de literatura sobre sistemas de rastreamento. Foram coletados artigos científicos sobre a implementação de soluções de rastreamento em cadeias de suprimentos alimentares, e a partir desses estudos foi desenvolvido um framework que adiciona variáveis de custos e lucros à rastreabilidade tradicional. Resultados e Discussão O rastreamento de alimentos começa com o produtor rural e inclui informações sobre o produto, data de colheita, e uso de insumos. O processamento e transporte também são registrados, com a inclusão de códigos de rastreabilidade e informações de transação. O framework proposto sugere a adição de informações sobre custos e lucros ao longo da cadeia de suprimentos, coordenadas por uma plataforma digital. Isso permitirá um novo modelo de precificação que promove transparência e equidade econômica, desafiando as práticas tradicionais de mercado e possibilitando um novo paradigma de responsabilidade social e econômica. Conclusão O framework proposto visa tornar transparente a formação dos preços dos alimentos ao longo da cadeia produtiva, promovendo um ambiente mais

justo e informativo para todos os envolvidos. Embora a implementação enfrente desafios tecnológicos e resistência de alguns participantes, a digitalização e a transparência na formação de preços têm o potencial de melhorar a justiça social e econômica. Futuras pesquisas devem explorar a aplicação prática do modelo em cadeias de suprimentos curtas e considerar o impacto das plataformas digitais como intermediárias nas cadeias alimentícias.

Palavras Chave

Rastreabilidade de Alimentos, Formação de Preços, Sustentabilidade social

Agradecimento a órgão de fomento

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasil, por meio de bolsa de doutorado com processo n. 140931/2022-8.

A DIGITALIZAÇÃO PODE SUPERRAR AS LEIS DE MERCADO? RASTREABILIDADE E PRECIFICAÇÃO TRANSPARENTE DE ALIMENTOS

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) os alimentos contaminados adoecem aproximadamente 600 milhões de pessoas todos os anos. Dessas, cerca de 420.000 pessoas morrem, incluindo 125.000 crianças com menos de 5 anos de idade. Outrossim, estima-se que 33 milhões de anos de vida saudável sejam perdidos anualmente devido ao consumo de alimentos inseguros (World Health Organization, 2015).

Diante desse contexto, várias soluções para a rastreabilidade de alimentos estão em desenvolvimento. A rastreabilidade aumenta a segurança alimentar ao permitir a identificação rápida de fontes de contaminação. Além disso, proporciona transparência, fornecendo aos consumidores informações claras sobre a origem e o processamento dos alimentos. Também facilita a conformidade, ajudando os produtores a cumprir regulamentos e padrões de qualidade, e melhora a gestão de recalls em casos de contaminação (Zhou; Xu, 2022).

Os sistemas de rastreabilidade utilizam a integração de diferentes tecnologias digitais para monitorar a localização e o estado atual de um produto (rastreamento) e identificar sua origem e características (rastreabilidade) (Li et al., 2016). Esses sistemas são baseados no conceito de unidade de recurso rastreável (TRU), que consiste em uma identificação única para um produto individual ou um lote de produtos. As soluções mais comuns para designar uma TRU incluem códigos de barras 1D e 2D impressos nas embalagens e RFID (identificação por radiofrequência), que utiliza etiquetas com microchip. Os sistemas de códigos, incluindo o código QR (abreviação de Quick Response Code) são considerados mais baratos e acessíveis para alimentos, como o leite, devido ao seu baixo custo operacional (Hassoun et al., 2024; Li et al., 2016; Zhou; Xu, 2022).

Os produtos identificados são sincronizados em um sistema de informações que permite a recuperação das informações (Hassoun et al., 2024; Zhou; Xu, 2022, 2022). Os sistemas de informação podem ser operados por um sistema centralizado de rastreamento (Li et al., 2016) ou podem ser descentralizados com o uso de blockchain. O blockchain é uma solução para armazenar dados de forma transparente dispensando a necessidade de uma autoridade central ou verificação por terceiros (Ahamed; Vignesh, 2022; Rocha et al., 2023). A tecnologia pode ter diversas aplicações, mas possui grande potencial para a rastreabilidade de produtos agrícolas. A segurança e transparência da tecnologia permite a automatização de diversos processos, inclusive com a possibilidade de uso de contratos inteligentes, alterando radicalmente a maneira como são realizadas as negociações atuais e com expressiva redução de custos de transação (Bruel; Godina, 2023; Dos Santos; Torrisi; Pantoni, 2021; Kshetri, 2021; Sharma; Tripathi; Mittal, 2022).

Contudo, há uma necessidade urgente de pesquisa adicional para explorar a interoperabilidade do blockchain com tecnologias emergentes, a fim de desenvolver *frameworks* mais sofisticados para cadeias de suprimentos alimentares (Ellahi; Wood; Bekhit, 2023). Sistemas de informação geográfica (GIS), internet das Coisas (IoT), big data, e a inteligência artificial (AI) são exemplos de tecnologias que podem integrar os sistemas de rastreamento de alimentos (Ellahi; Wood; Bekhit, 2023; Li et al., 2016; Mühl; Oliveira, 2022b, 2022a; Sharma; Tripathi; Mittal, 2022; Zhou; Xu, 2022).

Entretanto, nenhum estudo sobre rastreabilidade considerou a possibilidade de disponibilizar ao consumidor informações referentes aos custos de produção e margens de lucro de um determinado produto ao longo da cadeia de suprimentos. Enquanto isso, os preços são para o consumidor um mecanismo consolidado de informação para tomada de decisão que

reflete as condições de demanda e oferta de um produto (Monroe, 2012; Varian, 2008; Zeithaml, 1988). Por outro lado, diversos autores destacam a existência de oligopólios e monopólios que causam distorção nos mecanismos de mercados e de preços (Batalha, 2014; Miele; Waquil; Glauco, 2022; Paulino, 2008; Ploeg, 2022; Tozanli, 1998, 1998). Nesse sentido, diversos autores afirmam que a insegurança alimentar está muito mais relacionada as desigualdades sociais e ao desperdício de alimentos do que a falta de alimentos propriamente (Bjornlund; Bjornlund; van Rooyen, 2022; Delgado Cabeza, 2010; Ploeg; Ploeg, 2008; Salem; Pudza; Yihdego, 2022). Para ilustrar a situação no Brasil mais de 33 milhões de pessoas estavam em situação de insegurança alimentar em 2021, isso representa 15,5% dos lares brasileiros (Maluf et al., 2022).

A partir dessa problemática, o objetivo deste manuscrito é propor a rastreabilidade da formação dos preços dos produtos pela cadeia produtiva. Isso inclui a identificação dos atores da cadeia de suprimentos, as transformações realizadas no produto nas diferentes etapas, os insumos aplicados, os custos relativos às operações e o lucro auferido. Dessa forma, o sistema de rastreamento poderá oferecer ao consumidor e demais interessados um novo nível de transparência.

A proposição pode ser considerada uma inovação incremental em termos tecnológicos, pois já existem sistemas de rastreamento complexos em funcionamento em 2024, inclusive dedicados para produtos de baixo valor agregado (Dong; Jiang; Xu, 2023; Gaspar et al., 2022; Li et al., 2016; Marchesi et al., 2022). Por outro lado, a proposição pode ser considerada radical enquanto mecanismo de sustentabilidade social e econômica, capaz de desvincular a alimentação da falta de transparência e das especulações de preços por interesses econômicos. Em outras palavras, o mecanismo básico de precificação de mercado será substituído pela transparência de uma informação extensa e detalhada para a composição do preço final do produto alimentício ou preço justo. Por fim, o objetivo proposto se justifica por estar alinhado aos anseios da twin transition, uma estratégia que combina digitalização e sustentabilidade para impulsionar o crescimento sustentável, como destacado no fórum econômico mundial (Bianchini; Damioli; Ghisetti, 2023; Fouquet; Hippe, 2022; World Economic Forum, 2022).

2 METODOLOGIA

O manuscrito faz uma revisão de literatura sobre sistemas de rastreamento e a partir disso propõe um *framework* para o compartilhamento de novas informações relacionadas aos custos de produção. Portanto o método adotado pode ser classificado como exploratório, descritivo e qualitativo (Marconi; Lakatos, 2010). Foram coletados artigos científicos relatando estudos de caso de implementação de soluções de rastreamento em cadeias de suprimentos de alimentos na base de dados *Web of Science*.

A partir dos casos relatados foram identificadas as principais características dos sistemas de rastreamento de alimentos e as principais tecnologias que compõe esses sistemas. A partir dessas características e tecnologias foi criado um *framework* que considera além das variáveis tradicionais de rastreamento, como origem, data e características, as variáveis insumo usados na produção, custos e conseqüentemente lucros auferidos nos diferentes estágios da cadeia produtiva.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de rastreamento de alimentos normalmente inicia-se com o produtor rural que fornece informações que incluem o nome do produtor, nome do produto, data de colheita, data de validade e endereço do produtor. Além disso, informações adicionais como o uso de pesticidas, insumos utilizados podem ser coletadas, e cada produto ou lote é etiquetado com um

código único para facilitar o rastreamento (Alfian et al., 2017; Li et al., 2016; Marchesi et al., 2022; Tsang et al., 2019).

Durante o processamento, são registrados detalhes essenciais como datas, lotes e procedimentos. A embalagem é marcada com códigos de rastreabilidade ou ganha etiquetas eletrônicas, garantindo que cada unidade possa ser rastreada ao longo de toda a cadeia de suprimentos (Alfian et al., 2017; Chen, 2017).

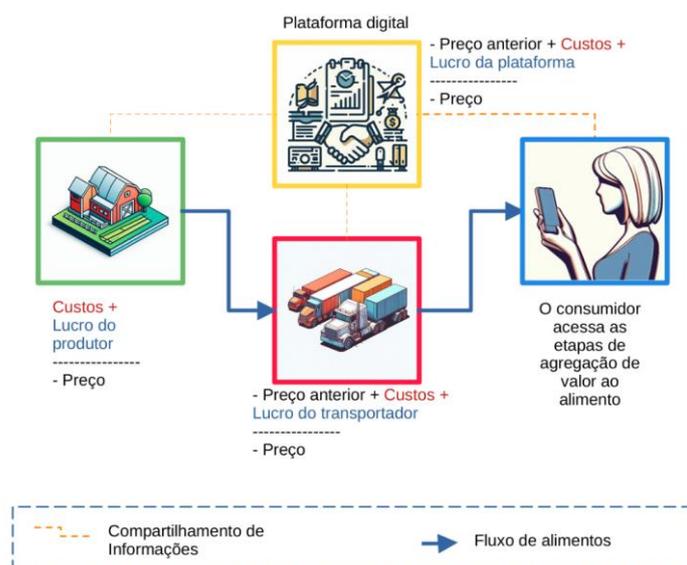
O transportador é responsável por fornecer informações de transação cruciais, que incluem o nome do remetente, nome do receptor, número do pedido de compra, endereço do remetente, endereço do destinatário e assinatura digital do remetente. Estas informações asseguram que o produto seja monitorado durante o transporte, registrando as condições de envio e recepção (Marchesi et al., 2022; Tsang et al., 2019).

Ao receber o produto, o distribuidor confirma o recebimento e registra informações de transação, incluindo a assinatura digital do receptor. Estas informações são essenciais para garantir que o produto foi recebido conforme esperado e para continuar o rastreamento ao longo da cadeia de suprimentos (Alfian et al., 2017; Marchesi et al., 2022; Tsang et al., 2019).

Os varejistas mantêm registros detalhados de quando os produtos chegam e são vendidos. Eles asseguram que os dados de rastreabilidade estejam acessíveis, permitindo a verificação contínua da qualidade e da origem dos produtos (Alfian et al., 2017; Tsang et al., 2019).

Finalmente, o cliente confirma o recebimento do produto e fornece informações que atestam que o produto foi entregue conforme esperado. Os consumidores podem acessar informações detalhadas sobre a história do produto, geralmente por meio de um código QR ou etiqueta, verificando a origem e o caminho percorrido (Alfian et al., 2017; Chen, 2017; Marchesi et al., 2022).

Figura 1 - Precificação de alimentos coordenada por plataforma digital



Fonte: autores 2024

Portanto, os sistemas de rastreabilidade de alimentos exigem uma meticulosa documentação de informações que se inicia com o produtor rural e chega até o consumidor. Cada integrante da cadeia de suprimentos fornece informações específicas ao sistema de rastreamento criando um histórico completo do produto (Alfian et al., 2017; Li et al., 2016; Marchesi et al., 2022; Tsang et al., 2019). A partir disso, o *framework* a seguir, figura 1, sugere o compartilhamento de informações relacionadas as operações, insumos e custos do alimento

ao longo da cadeia de suprimentos, coordenadas por uma plataforma digital. O exemplo retrata uma transação de compra onde o consumidor final adquire o alimento direto do produtor rural por intermédio de uma plataforma digital, como relatado por Niederle, Schneider e Cassol (2021).

Nesse exemplo, propomos o compartilhamento de informações relativas à composição do preço do produto ao longo da cadeia de suprimentos. O processo começa com o produtor rural, que fornece informações iniciais sobre todas as despesas relativas ao cultivo de determinado alimento. Essa informação pode ser comprovada com documentação fiscal e/ou auditada pela plataforma. Outrossim, os demais integrantes da cadeia, inclusive a própria plataforma, compartilham as informações referentes a formação do preço até o consumidor final.

As informações de rastreabilidade comumente usadas são o nome do produtor, nome do produto, data de colheita, data de validade e endereço do produtor (Alfian et al., 2017; Li et al., 2016; Marchesi et al., 2022; Tsang et al., 2019). Entretanto, a rastreabilidade inteligente da formação de preços pode se tornar um novo diferencial competitivo ao estabelecer uma relação de confiança que supera as relações de poder econômico, podendo ser um instrumento alternativo para os atores menos favorecidos nas atuais relações comerciais, como consumidores e produtores rurais. Ademais, consumidores e produtores rurais são atores fundamentais para as cadeias de suprimentos de alimentos.

Teoricamente fica claro que a digitalização pode superar as atuais leis de mercado, de oferta e demanda para a formação dos preços de alimentos. Novos negócios, baseados em digitalização ou economia de plataforma, podem permitir um processo de precificação detalhado superando a precificação consolidada que se baseia nas forças de mercado. Canais de distribuição de alimentos alternativos como do produtor direto ao consumidor final parecem promissores para testar esse modelo de precificação detalhada dos alimentos, inaugurando um novo paradigma de responsabilidade econômica e social.

4 CONCLUSÃO

O framework desenvolvido propõe o rastreamento da formação dos preços dos alimentos pela cadeia de suprimentos. Uma plataforma digital pode tornar transparente as relações de preços ao longo da cadeia de suprimentos, isso cria um ambiente mais informativo e justo para todos os envolvidos, destacando a importância de cada etapa na formação do preço final do produto.

A implementação de um sistema de rastreabilidade nos termos apresentados pode ser um grande desafio, requer infraestrutura tecnológica robusta e está sujeito a resistência de alguns participantes das cadeias de alimentos tradicionais. Estudos futuros podem explorar a aplicação prática dessas soluções em cadeias de suprimento curtas devido a menor complexidade e aos potenciais benefícios para produtores rurais e consumidores. Por outro lado, as plataformas digitais tendem a ganhar muito poder ao realizar a intermediação das negociações tornando-se os novos oligopólios das cadeias alimentícias, sendo necessário mais estudos sobre a temática.

Em última instância o estudo demonstrou ser teoricamente possível a transformação digital para a sustentabilidade social e econômica, de acordo com o conceito de *twin transition*. O sistema ou plataforma pode assumir características de iniciativas privada, cooperativa ou associativa sem fins lucrativos. A total transparência na formação dos preços é o elemento que garantirá transição social e econômica subvertendo o imperativo individualista que define as relações de trocas comerciais atuais, possibilitando uma distribuição mais justa de renda entre os atores das cadeias de suprimentos de alimentos por meio da transparência. Espera-se que os

resultados encontrados incentivem pesquisadores e a sociedade para a mobilização de recursos que permitam a implantação prática de modelos de rastreabilidade detalhado para os alimentos.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasil, por meio de bolsa de doutorado com processo n. 140931/2022-8.

REFERÊNCIAS

- ALFIAN, Ganjar et al. Integration of RFID, wireless sensor networks, and data mining in an e-pedigree food traceability system. *Journal of Food Engineering*, [s. l.], v. 212, p. 65–75, 2017.
- BIANCHINI, Stefano; DAMIOLI, Giacomo; GHISSETTI, Claudia. The environmental effects of the “twin” green and digital transition in European regions. *Environmental and Resource Economics*, [s. l.], v. 84, n. 4, p. 877–918, 2023.
- BJORN LUND, V.; BJORN LUND, H.; VAN ROOYEN, A. Why food insecurity persists in sub-Saharan Africa: A review of existing evidence. *Food Security*, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 845–864, 2022.
- CHEN, Rui-Yang. An intelligent value stream-based approach to collaboration of food traceability cyber physical system by fog computing. *Food Control*, [s. l.], v. 71, p. 124–136, 2017.
- DELGADO CABEZA, Manuel. El sistema agroalimentario globalizado: imperios alimentarios y degradación social y ecológica. Sevilla, 2010. Disponível em: <https://idus.us.es/handle/11441/84058>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- DONG, Lingxiu; JIANG, Puping (Phil); XU, Fasheng. Impact of Traceability Technology Adoption in Food Supply Chain Networks. *Management Science*, [s. l.], v. 69, n. 3, p. 1518–1535, 2023.
- ELLAHI, Rizwan Matloob; WOOD, Lincoln C.; BEKHIT, Alaa El-Din Ahmed. Blockchain-Based Frameworks for Food Traceability: A Systematic Review. *Foods*, [s. l.], v. 12, n. 16, p. 3026, 2023.
- GASPAR, Paula et al. What effect does the presence of sustainability and traceability certifications have on consumers of traditional meat products? The case of Iberian cured products in Spain. *MEAT SCIENCE*, Oxford, v. 187, p. 108752, 2022.
- HASSOUN, Abdo et al. Food traceability 4.0 as part of the fourth industrial revolution: key enabling technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 873–889, 2024.
- KSHETRI, Nir. Blockchain-Based Smart Contracts to Provide Crop Insurance for Smallholder Farmers in Developing Countries. *IT Professional IEEE Computer Society*, , 2021.
- LI, H. et al. A food traceability framework for dairy and other low-margin products. *IBM Journal of Research and Development*, [s. l.], v. 60, n. 5/6, p. 10:1-10:8, 2016.
- MALUF, S. Renato et al. Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil. São Paulo: Fundação Friedrich Ebert, 2022. Disponível em: <https://olheparaafome.com.br/>. Acesso em: 7 jul. 2023.
- MARCHESE, Lodovica et al. Automatic Generation of Ethereum-Based Smart Contracts for Agri-Food Traceability System. *IEEE ACCESS* 445 HOES LANE, PISCATAWAY,

- NJ 08855-4141 USA IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC, 2022.
- MÜHL, Diego Durante; OLIVEIRA, Letícia de. A bibliometric and thematic approach to agriculture 4.0. *Heliyon*, [s. l.], v. 8, n. 5, p. e09369, 2022a.
- MÜHL, Diego Durante; OLIVEIRA, Letícia de. Tecnologias para a economia circular na agropecuária. *Iheringia, Série Botânica.*, [s. l.], v. 77, 2022b. Disponível em: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/1260>. Acesso em: 14 fev. 2023.
- NIEDERLE, Paulo André; SCHNEIDER, Sergio; CASSOL, Abel Perinazzo. Mercados alimentares digitais: inclusão produtiva, cooperativismo e políticas públicas. [S. l.]: Editora da UFRGS, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/231276>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- PAULINO, Eliane Tomiasi. Camponeses e impérios alimentares: lutas por autonomia e sustentabilidade na era da globalização. *Agrária (São Paulo. Online)*, [s. l.], n. 9, p. 85–95, 2008.
- ROCHA, Geneci da Silva Ribeiro et al. Blockchain, Quo Vadis? Recent Changes in Perspectives on the Application of Technology in Agribusiness. *Future Internet*, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 38, 2023.
- SALEM, H.S.; PUDZA, M.Y.; YIHDEGO, Y. Water strategies and water–food Nexus: challenges and opportunities towards sustainable development in various regions of the World. *Sustainable Water Resources Management*, [s. l.], v. 8, n. 4, 2022.
- SHARMA, Vivek; TRIPATHI, Ashish Kumar; MITTAL, Himanshu. Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions. *Computers and Electronics in Agriculture*, [s. l.], v. 201, p. 107217, 2022.
- TSANG, Yung Po et al. Blockchain-Driven IoT for Food Traceability With an Integrated Consensus Mechanism. *IEEE Access*, [s. l.], v. 7, p. 129000–129017, 2019.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: foodborne disease burden epidemiology reference group. Geneva: World Health Organization, 2015. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/199350>. Acesso em: 9 jul. 2024.