

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

HIAGO HENRIQUE ROCHA ZANETONI

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NA RASTREABILIDADE DE
PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

HIAGO HENRIQUE ROCHA ZANETONI

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NA RASTREABILIDADE DE
PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Daniel Marçal de Queiroz

Coorientadores: André Luiz de Freitas Coelho
Fernanda de Campos Sousa
Fernando da Costa Baêta
Mário Luiz Chizzotti

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Zanetoni, Hiago Henrique Rocha, 1992-
Z28a Aplicação da tecnologia *blockchain* na rastreabilidade de
2023 produtos de origem animal / Hiago Henrique Rocha Zanetoni. –
Viçosa, MG, 2023.

1 tese eletrônica (78 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Daniel Marçal de Queiroz.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.036>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Agropecuária - Controle de produção. 2. Carne -
Inspeção. 3. Bovinos de corte. 4. Blockchains (Bases de dados).
I. Queiroz, Daniel Marçal de, 1957-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 664.9297


HIAGO HENRIQUE ROCHA ZANETONI

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* NA RASTREABILIDADE DE
PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de janeiro de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **HIAGO HENRIQUE ROCHA ZANETONI**
Data: 06/02/2023 14:24:01-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Hiago Henrique Rocha Zanetoni
Autor

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL MARÇAL DE QUEIROZ**
Data: 06/02/2023 15:03:13-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Daniel Marçal de Queiroz
Orientador

*A minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão,
que mesmo de longe foram meu sustento até
aqui.*

OFEREÇO

*À minha avó Neuza, por seu amor e sua poderosa
intercessão.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, força maior, agradeço por me permitir chegar até aqui.

À minha mãe e ao meu pai, pelo amor, pelo colo nos momentos turbulentos, mesmo de longe. Por todo apoio moral e financeiro e pelas orações. Mãe e pai, nós vencemos, muito obrigado por tudo que fizeram pra que eu estivesse aqui hoje.

À minha avó Neuza, por ser pilar e amor, por não cansar de rezar por mim, pelos conselhos e incentivo, por tudo que faz por mim, muito obrigado.

Ao Carlos Eduardo por todo amor compartilhado entre nós, pelo cuidado, pela compreensão e por me ajudar a atravessar cada etapa, muito obrigado.

Aos meus irmãos e todos de Rondonópolis que torceram por mim, pelo amor, pelo incentivo, mesmo as vezes sem compreender o que eu fazia aqui, a minha gratidão.

À Juliana Martino, por ter sido nesse período a minha família em Viçosa, por todo amor, partilha e sintonia, eu nunca esquecerei de nenhum momento, gratidão.

Aos amigos, que tornaram o caminho até aqui mais leve. Monique, obrigado pela amizade, pela troca de conhecimento, pela divisão da sala de estudos e disponibilidade em sempre colaborar comigo. Charles, obrigado pela amizade, por toda ajuda e parceria, pelas conversas na hora do café. Maria Angela, obrigado pela amizade sincera, por atualmente ser minha companheira de sala, por toda ajuda e conversa. E a todos os amigos que tive a oportunidade de convivência, e que de certa forma somaram comigo, meu muito obrigado.

Ao meu orientador, professor Daniel, obrigado por cada vez que fui até sua sala e encontrei orientação, por todos os ensinamentos que levarei comigo para sempre, obrigado.

À toda minha equipe orientadora, obrigado por serem apoio para realização deste trabalho. Em especial ao Andre, pela sua prontidão de sempre, pela vontade de me ajudar, muito obrigado. À Fernanda, por sempre contribuir comigo e estar disposta a ajudar, por confiar tarefas a mim, muito obrigado. Ao Baêta, para mim um exemplo profissional, professor obrigado por me ajudar a não desistir, quando tudo era tempestade você me ajudou a encontrar calma. Ao Mario, pela ajuda e por viabilizar a execução do experimento na UEPE Frigorífico Escola. E a todos os professores que somaram com minha carga de conhecimento até aqui, muito obrigado por desempenhar com maestria o ofício de vocês.

A todas as pessoas que durante este período tive a oportunidade de conviver, de ajudar e ser ajudado, de divertir e crescer, a minha gratidão.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, CAPES e CNPq, pelo incentivo financeiro e concessão da bolsa.

E por fim gratidão a memória do meu avô Belino, que em sonho lá em 2017, me mostrou que era pra entrar no doutorado dizendo “Quando tiver muita chuva no caminho, coloque o capote, se revista, e continue a sua caminhada, você já sabe a direção”.

A minha gratidão.

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes”.

(Isaac Newton)

RESUMO

ZANETONI, Hiago Henrique Rocha, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2023. **Aplicação da tecnologia *blockchain* na rastreabilidade de produtos de origem animal.** Orientador: Daniel Marçal de Queiroz. Coorientadores: André Luiz de Freitas Coelho, Fernanda de Campos Sousa, Fernando da Costa Baêta e Mário Luiz Chizzotti.

A carne bovina é uma importante fonte de proteína na dieta humana, é consumida em todo o mundo e em alguns países faz parte da cultura gastronômica. O Brasil, além de grande produtor de carne bovina, é também destaque na comercialização internacional, a qual só é permitida se o produto seguir rigorosos padrões de qualidade. Além disso, é necessário comprovar a forma de produção da carne bovina, visando garantir a segurança alimentar dos consumidores e atender à demanda de alguns mercados, isso se torna possível por meio de sistemas seguros de rastreabilidade. O blockchain foi inicialmente aplicado ao mercado financeiro e atualmente se faz presente em vários outros setores que demandam por serviços de rastreabilidade, dentre eles a agropecuária. A utilização do blockchain na agropecuária, com sua natureza inviolável e distribuída, auxilia na superação de algumas limitações enfrentadas no setor, como, a quantidade e a pluralidade dos dados, a complexidade das cadeias produtivas e a sensibilidade ao tempo. O blockchain atua como um banco de dados descentralizado e altamente seguro. Sendo assim, pode ser utilizado como ferramenta de rastreabilidade nas cadeias produtivas, auxiliando no processo de tomadas de decisões e agregando valor aos produtos. Aos consumidores, o blockchain atua como um sistema de rastreabilidade sem uma entidade central controladora, diferentemente dos sistemas de rastreabilidade utilizados atualmente, que por sua vez, possuem uma entidade controladora, sendo assim passíveis de fraudes. O blockchain retorna informações altamente seguras e de maneira rápida a respeito dos produtos agroalimentares. A utilização do blockchain em várias cadeias de suprimento é credibilizada pelos consumidores, e traz benefícios aos produtores e a segurança alimentar da crescente população mundial. O blockchain tem seu funcionamento pautado no contrato inteligente. O contrato inteligente se trata de um acordo firmado entre as partes envolvidas, sem a necessidade de terceiros, e registrado no próprio blockchain, este garante o correto funcionamento de todo o sistema. Então, visando aproveitar as vantagens da tecnologia blockchain na cadeia de produção de carne bovina brasileira, desenvolveu-se um sistema de rastreabilidade de carne bovina descentralizado, seguro e de baixo custo. O sistema foi desenvolvido para rastrear as informações referentes à toda a vida do animal, envolvendo informações de todo o processo do

abate do animal e também da comercialização dos cortes cárneos. Os consumidores acessam as informações do sistema de rastreabilidade utilizando um tablet via um QR Code fixado na embalagem do corte de carne. O sistema foi projetado para receber informações de forma automática e manual, se de forma manual, as informações foram inseridas somente por usuários previamente cadastrados. O sistema desenvolvido foi aplicado na cadeia de produção de carne bovina em primeiro momento para animais criados em sistema intensivo de produção, em um segundo momento foi então aplicado à cadeia produtiva de animais criados em sistema extensivo de produção. Avaliou-se o custo de implantação do sistema de rastreabilidade desenvolvido, o alcance o impacto deste sistema aos consumidores finais, levando em consideração o perfil socioeconômico dos consumidores finais. Após a caracterização socioeconômica, os consumidores revelaram que a rastreabilidade da carne bovina é importante para eles, e demonstraram dispostos a pagar pelo menor valor proposto para se ter carne bovina rastreada. Os consumidores credibilizaram o sistema desenvolvido, julgando que as informações por eles encontradas a respeito da carne bovina foram de fácil compreensão, e também apontaram a facilidade em acessar o sistema desenvolvido. O custo de implantação é compatível com o que apontam outros estudos, e dentro da faixa que os consumidores estavam dispostos a pagar. Este custo varia de acordo com a quantidade de animais rastreados. O custo para se rastrear o corte de carne com o sistema desenvolvido foi inferior a 1% do valor comercial da carne. Então, o sistema de rastreabilidade desenvolvido funcionou de acordo com os princípios do blockchain e rastreou com sucesso a carne bovina de animais criados em sistemas de produção intensivo e extensivo, atuando assim com sucesso na rastreabilidade da carne bovina.

Palavras-chave: Agropecuária digital. Produção animal. Rastreabilidade. Segurança alimentar.

ABSTRACT

ZANETONI, Hiago Henrique Rocha, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2023. **Application of blockchain technology in the traceability of products of animal origin.** Advisor: Daniel Marçal de Queiroz. Co-advisors: André Luiz de Freitas Coelho, Fernanda de Campos Sousa, Fernando da Costa Baêta and Mário Luiz Chizzotti.

Beef is an important source of protein in the human diet, it is consumed all over the world and in some countries, it is part of the gastronomic culture. Brazil, in addition to being a major producer of beef, is also prominent in international trade. To reach international markets it is possible if the product follows strict quality standards. In addition, it is necessary to prove the way in which beef is produced, in order to guarantee food safety for consumers and meet the demand of some markets, which is made possible through the use of secure traceability systems. Blockchain was initially applied to the financial market, and it is currently present in several other sectors that demand traceability services, including agriculture. The use of blockchain in agriculture, with its inviolable and distributed nature, helps to overcome some limitations faced in the sector, such as the amount and plurality of data, the complexity of production chains and sensitivity to time. Blockchain acts as a decentralized and highly secure database. Therefore, it can be used as a traceability tool in production chains, helping in the decision-making process and adding value to products. For consumers, the blockchain acts as a traceability system without a central controlling entity, unlike the traceability systems currently used, which, in turn, have a controlling entity, thus being susceptible to fraud. The blockchain returns highly secure and fast information about agrifood products. The consumers generally trust in the use of blockchain in different supply chains. Its application brings benefits to producers and guarantees food security of the growing world population. The blockchain has its operation based on the smart contract. The smart contract is an agreement signed among the parties involved, without the need for third parties, and registered in the blockchain itself, which guarantees the correct functioning of the entire system. So, aiming to take advantage of blockchain technology in the Brazilian beef production chain, a decentralized, safe and low-cost beef traceability system was developed. The system was developed to track information regarding the entire life of the animals, involving information on the entire process of slaughtering the animal and also on the commercialization of meat cuts. Consumers can access information from the traceability system using a tablet via a QR Code attached to the meat cut package. The system was designed to receive information automatically and manually, if

manually, the information was entered only by previously registered users. The developed system was firstly applied to the beef production chain for animals raised in an intensive production system, and after that the blockchain was also applied to the production chain of animals raised in an extensive production system. The cost of implementing the developed traceability system was evaluated, as well as the reach and impact of this system on final consumers, taking into account the socioeconomic profile of final consumers. After the socioeconomic characterization, consumers revealed that the traceability of beef is important to them, and demonstrated willingness to pay for the lowest proposed value to have traced beef. Consumers gave credibility to the developed system, judging the information they found about beef to be easy to understand, and also pointed out the ease of accessing the developed system. The implementation cost is compatible with what other studies point out, and within the range that consumers proposed to pay. This cost varies according to the number of animals tracked. The cost to track meat cuts with the developed system was less than 1% of the commercial value of the meat. So, the developed traceability system worked according to the blockchain principles and successfully traced beef from animals raised in intensive and extensive production systems, thus successfully working on beef traceability.

Keywords: Digital animal production. Animal production. Traceability. Food security.

SUMÁRIO

Introdução geral	13
Referências	17
Capítulo 1 – Blockchain aplicado à rastreabilidade de produtos de origem animal: Uma revisão sistemática de literatura.....	18
Introdução.....	20
Rastreabilidade alimentar	22
Blockchain.....	23
Metodologia.....	24
Resultados e discussão	26
Considerações finais.....	29
Referências	31
Capítulo 2 – Aplicação blockchain para rastreio de carne bovina no Brasil: Um estudo de caso35	
Introdução.....	37
Material e métodos.....	38
Resultados e discussão	43
Conclusões.....	49
Referências	50
Capítulo 3 – Alcance e custo de um modelo de rastreabilidade pautado em tecnologia blockchain para a cadeia produtiva da carne bovina	52
Introdução.....	54
Blockchain e contrato inteligente	55
Material e métodos.....	57
Resultados e discussão	60
Conclusões.....	62
Referências	64

Conclusões gerais.....	66
Apêndices.....	68

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é destaque mundial na produção de carne bovina. Além de ser o segundo maior produtor, o país é o maior exportador de carne bovina, isso devido às condições climáticas favoráveis, vasta extensão territorial, adoção de tecnologias incluindo o melhoramento genético entre outros fatores. Esse conjunto de fatores além de permitir a obtenção de alimentos de qualidade, gera empregos para a população e riquezas para o país advinda da exportação de produtos de origem animal. No ano de 2021, foram produzidos no Brasil 9,71 milhões de toneladas de carne bovina. Destas, 25,5% ou 2,48 milhões de toneladas foram exportados para dezenas de países em todo o mundo, seguindo rigorosos padrões de qualidade (ABIEC, 2022). A permanência do país neste cenário só será possível se os modos de produção forem eficientes e produtivos, pois, o mercado é crescente e se torna cada vez mais exigente e competitivo.

A demanda mundial por alimentos é crescente, é necessário produzir alimentos de forma segura para uma população, que no ano de 2050, será superior a 9 bilhões de pessoas (FAO, 2022). COLE *et al.* (2018) estabelecem algumas megatendências para o setor de produção de alimentos, entre elas está a maior exigência dos consumidores com relação à transparência sobre os processos produtivos e procedência dos alimentos, isso devido ao aumento do poder de compra dos consumidores. E também, a integração de plataformas digitais, análises e sensores em tempo real, internet das coisas (IoT) e outras tecnologias emergentes que estão fazendo com que as cadeias de produção de alimentos se tornem mais inteligentes, digitais e eficientes. Essas tecnologias estão trazendo as informações demandas pelos consumidores de forma rápida e segura, e também reduzindo as perdas de alimentos no processo produtivo.

O emprego de técnicas de rastreabilidade permite aos consumidores a identificação da origem e dos processos aplicados ao produto antes de chegar à mesa (COSTA *et al.*, 2013), e junto às exigências dos consumidores garante a comercialização internacional da carne produzida no Brasil. Quatro grandes pautas precisam ser atendidas e amparadas por um sistema de rastreabilidade: i) coletar dados representativos; ii) identificar o responsável pelo dado inserido; iii) adotar um sistema de coleta de dados efetivo e preciso; iv) disponibilizar de forma compreensível os dados aos interessados. Entretanto, a complexidade das cadeias agroalimentares representa um desafio para a rastreabilidade dos alimentos de origem animal (CORALLO *et al.*, 2018). Como cada etapa da cadeia de produção apresenta seus padrões e métodos de rastreio, há uma grande variedade de dados adquiridos, afetando assim a credibilidade e transparência das informações.

Os mercados consumidores demonstram interesse em ter acesso a informações qualitativas e detalhes dos sistemas produtivos, e geralmente estão dispostos a pagar por isso (JUNEJO *et al.*, 2021). Essas informações geralmente são reunidas em sistemas de rastreabilidade que são implementados pelos membros das cadeias produtivas. Porém, a credibilidade dos sistemas de rastreabilidade utilizados atualmente pode ser reduzida se o armazenamento das informações for centralizado (DEMESTICHAS *et al.*, 2020). Pois, o gerenciamento centralizado das informações utilizado nos sistemas de rastreabilidade convencionais está sujeito a violação das informações, além de apresentarem elevado custo de implantação.

Os consumidores mais exigentes requerem informações seguras e detalhadas da cadeia produtiva. Portanto, sistemas de rastreabilidade de produtos de origem animal para esses consumidores devem conter informações a respeito do tipo de sistema de criação animal, se houve ou não sofrimento animal, o manejo sanitário que foi adotado no sistema de criação, a forma de abate do animal, informações qualitativas do produto e também informações sobre transporte e condições de armazenagem do produto. Além da carência de muitas dessas informações, muitos sistemas de rastreabilidade existentes ainda não tem a preocupação em apresentar tais informações aos consumidores. Adicionalmente, nos resultados das pesquisas realizadas com rastreabilidade não constam estudos sobre a forma de acesso e visualização das informações por parte dos consumidores.

A ascensão do blockchain se deu no ano de 2008 no setor financeiro, com o estabelecimento das criptomoedas (NAKAMOTO, 2009). O blockchain é um banco de dados imutável e distribuído que é compartilhado em uma rede de computadores (SCHINCKUS, 2020). Nele os usuários têm a opção de contribuir com o banco de dados, mas não podem editar dados já inseridos. No blockchain todos os dados estão disponíveis de forma transparente e em tempo real (DEMESTICHAS *et al.*, 2020). Esses dados também são criptografados, proporcionando um alto nível de segurança, o que é uma importante vantagem do blockchain. O funcionamento do blockchain é baseado em registro de transações de forma descentralizada e possibilita a utilização de contrato inteligente, um acordo contratual assinado entre as partes envolvidas e registrado na rede, que viabiliza a confiança entre as partes envolvidas (YANO *et al.*, 2018).

Sendo assim, diante das vantagens do blockchain é notório o potencial desta tecnologia para a rastreabilidade das cadeias de produção, incluindo a carne bovina (SHEW *et al.*, 2022; YANO *et al.*, 2018), embora, a aplicação mais difundida do blockchain seja ainda no setor

financeiro. Trabalhos já realizados revelam a crescente adoção do blockchain para obtenção do rastreio em tempo reduzido, com maior transparência e eficiência dos alimentos de origem agropecuária (WONG *et al.*, 2020). Com o blockchain a disponibilização de informações acerca de toda a produção torna-se mais simples, transparente, confiável e segura para todas as partes da cadeia produtiva, incluindo também os consumidores. O blockchain pode ser utilizado no armazenamento e compartilhamento de dados, no gerenciamento da cadeia produtiva e na rastreabilidade dos produtos, neste caso favorecendo a segurança alimentar dos consumidores. Podendo também, ser utilizado na certificação de ações voltadas para a agropecuária, como a neutralidade da emissão de carbono.

É válido ressaltar que a tecnologia blockchain pode se tornar uma importante ferramenta de rastreio de produtos agroalimentares, incluindo a carne bovina, podendo fornecer assim uma solução eficiente, transparente e segura, superando os sistemas convencionais de rastreabilidade atualmente utilizados (LEE *et al.*, 2017). Porém, essa técnica carece de estudos referentes à forma de concepção da aplicação, a avaliação do impacto nas cadeias produtivas e nos consumidores finais, e nesses estudos é preciso ainda preocupar-se com a forma de acesso das informações por parte dos consumidores. Além disso, esses estudos também devem contemplar a utilização das informações armazenadas no processo de tomada de decisões visando à gestão das cadeias de produção.

Com base no exposto, o objetivo dessa tese foi desenvolver e implantar um sistema de rastreabilidade de carne bovina com base em blockchain, abrangendo toda a cadeia produtiva. Os objetivos específicos foram:

- I. Desenvolver um sistema para rastreabilidade de carne bovina baseado na tecnologia blockchain, utilizando a linguagem Solidity, por meio da plataforma Ethereum.
- II. Implantar o sistema de rastreabilidade desenvolvido na cadeia produtiva da carne bovina e avaliar o alcance e o impacto deste sistema aos consumidores finais, considerando o perfil socioeconômico dos consumidores;
- III. Avaliar o potencial de empregabilidade e os custos de utilização do sistema de rastreabilidade desenvolvido.

A fim de reportar os resultados, a tese é apresentada em três capítulos, intitulados:

Capítulo I: Blockchain aplicado à rastreabilidade de produtos de origem animal: Uma revisão sistemática de literatura;

Capítulo II: Aplicação blockchain para rastreio de carne bovina no Brasil: Um estudo de caso;

Capítulo III: Alcance e custo de um modelo de rastreabilidade pautado em tecnologia blockchain para a cadeia produtiva da carne bovina.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. *Perfil da pecuária no Brasil*. Disponível em: <<http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/>>. Acesso em: 6 nov. 2022.
- COLE, Martin Barry *et al.* The science of food security. *Science of Food*, v. 2, n. 1, 1 dez. 2018.
- CORALLO, Angelo *et al.* Intelligent monitoring Internet of Things based system for agri-food value chain traceability and transparency: A framework proposed. jun. 2018, [S.l.]: IEEE, jun. 2018. p. 1–6.
- COSTA, Corrado *et al.* A Review on Agri-food Supply Chain Traceability by Means of RFID Technology. *Food and Bioprocess Technology*, v. 6, n. 2, p. 353–366, 9 fev. 2013.
- DEMESTICHAS, Konstantinos *et al.* Blockchain in Agriculture Traceability Systems: A Review. *Applied Sciences*, v. 10, n. 12, p. 4113, 15 jun. 2020.
- FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. 12 dez. 2022. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/card/en/c/cc2211en>>. Acesso em: 18 dez. 2022.
- JUNEJO, Aisha Zahid; HASHMANI, Manzoor Ahmed; ALABDULATIF, Abdullah A. Blockchain-Based Transparent and Traceable Halal Food Supply Chain Management Systems. [S.l.: s.n.], 2021. p. 462–490.
- LEE, Hau *et al.* Technology in Agribusiness: Opportunities to drive value. *White paper*, 2017.
- NAKAMOTO, Satoshi. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em: <www.bitcoin.org>.
- SCHINCKUS, Christophe. The good, the bad and the ugly: An overview of the sustainability of blockchain technology. *Energy Research & Social Science*, v. 69, p. 101614, 1 nov. 2020. Acesso em: 20 out. 2022.
- SHEW, Aaron M. *et al.* Consumer valuation of blockchain traceability for beef in the <sc>United States</sc>. *Applied Economic Perspectives and Policy*, v. 44, n. 1, p. 299–323, 28 mar. 2022.
- WONG, Lai-Wan *et al.* Time to seize the digital evolution: Adoption of blockchain in operations and supply chain management among Malaysian SMEs. *International Journal of Information Management*, v. 52, p. 101997, jun. 2020.
- YANO, Inacio *et al.* *Bovine livestock tracking through Smart contracts with Blockchain technology*. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/329626470>>.

CAPÍTULO 1

(Formatado de acordo com as normas da Revista Ciência Agronômica, onde o artigo já está submetido)

BLOCKCHAIN APLICADO À RASTREABILIDADE DE PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

BLOCKCHAIN APLICADO À RASTREABILIDADE DE PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Hiago Henrique Rocha Zanetoni, Daniel Marçal de Queiroz, Mario Luiz Chizzotti, Ronan Dutra Mendonça, Fernando da Costa Baêta, Andre Luiz de Freitas Coelho, José Augusto Miranda Nacif

RESUMO

A tecnologia blockchain, inicialmente aplicada ao mercado financeiro, é reconhecida por sua segurança em armazenar informações de forma descentralizada, e pela facilidade de acesso a essas informações. Uma das aplicabilidades da tecnologia blockchain é o estabelecimento de sistemas de rastreabilidade de cadeias produtivas. Sistemas de rastreabilidade de alimentos têm se mostrado cada vez mais importantes para a garantia da qualidade e da segurança dos alimentos ao consumidor final, que por sua vez, valorizam e dão credibilidade ao sistema de rastreabilidade, reconhecendo sua importância. O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de realizar uma revisão sistemática de literatura sobre a importância da aplicação da tecnologia blockchain para a rastreabilidade de produtos de origem animal. Foram consultadas duas bases de dados científicos, a Scopus e a Web of Science e após a classificação, com base em critérios de inclusão e exclusão, doze artigos foram selecionados para o estudo. A usabilidade da tecnologia blockchain é recente, emergente e promissora na rastreabilidade dos produtos de origem animal, despertando interesse de pesquisadores de todo o mundo. O uso da tecnologia blockchain na rastreabilidade de produtos de origem animal é útil e presente em diversas cadeias de produção, fornecendo ao consumidor informações confiáveis sobre a origem do seu alimento, aqui sendo a carne bovina, o leite, a carne de peixe, a carne suína e o ovo.

Palavras-chave: Cadeia de abastecimento agropecuária, segurança alimentar, produção animal

ABSTRACT

Blockchain technology, initially applied to the financial market, is recognized for its security in storing information in a decentralized way, and for the ease of access to this information. One of the applications of blockchain technology is the establishment of traceability systems for production chains. Food traceability systems have shown to be increasingly important to

guarantee the quality and safety of food to the final consumer, who, in turn, value and give confidence to the traceability system, recognizing its importance. The present study was developed with the objective of carrying out a systematic literature review on the importance of applying blockchain technology for the traceability of products of animal origin. Two scientific databases were consulted, Scopus and the Web of Science, and after classification, based on inclusion and exclusion criteria, twelve articles were selected for the study. The usability of blockchain technology is recent, emerging and promising in the traceability of animal products, arousing research interest from around the world. The use of blockchain technology in the traceability of products of animal origin is useful and present in several production chains, providing the consumer with long-awaited information about the origin of their food, here being beef, milk, fish meat, meat pork and egg.

Keywords: Agricultural supply chain, food security, animal production

1.1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a procedência e a qualidade dos alimentos é cada vez mais elevada por parte dos consumidores. Essa preocupação com a informação a respeito do processo de produção dos produtos que são consumidos deu origem à rastreabilidade. A rastreabilidade é um conjunto de técnicas utilizadas para registrar informações sobre o histórico de um produto incluindo dados sobre localização da origem, tratamentos e processamentos pelos quais ele foi submetido (Corallo et al., 2018). A preocupação com a qualidade dos alimentos é tal, que os consumidores geralmente se dispõem a pagar mais caro por produtos alimentares de origem rastreada (Badia-Melis et al., 2015). Existem consumidores interessados em conhecer a origem do alimento, a forma de obtenção, os impactos gerados no seu processamento, e para os alimentos de origem animal, se não houve ocorrência de sofrimento animal e, principalmente, se os produtos são seguros para o consumo (Vital et al., 2018).

A complexidade das cadeias de abastecimentos muitas vezes é a causa da falta de transparência dos processos e de rastreabilidade (Marassi Martins & Lopes, 2003). No entanto, hoje em dia, a segurança dos alimentos é tratada como assunto intimamente ligado à saúde pública. Há relatos, nas últimas décadas, de vários incidentes de epidemia gerados pela alimentação envolvendo produtos de origem animal (Hocquette et al., 2005; Prache et al., 2005). A fim de eliminar incidentes envolvendo alimentos de origem animal, em nível mundial, os governantes e as organizações de saúde estabeleceram padronizações, leis e

regulamentações. Para atender à necessidade de rastreabilidade da cadeia produtiva bovina brasileira, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) criou em 2002 o Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Origem Bovina e Bubalina (SISBOV), permitindo o rastreamento do gado desde o nascimento até o abate. A regulamentação da rastreabilidade impulsionou a adoção de medidas de segurança aos alimentos por parte das indústrias e produtores, com o intuito de minimizar os danos ocasionados à saúde pública (Hocquette et al., 2005).

O blockchain é uma tecnologia adotada para o rastreamento de transações e dados compartilhados e tem por função o armazenamento seguro e descentralizado dessas informações (Nakamoto, 2009). É notório o potencial da tecnologia blockchain para suprir deficiências no processo de rastreabilidade nas cadeias de produção (Garg & Kumar, 2021). Nesse sentido, a utilização da tecnologia blockchain para realizar a rastreabilidade dos produtos garante confiança aos consumidores, já que é possível acessar todos os registros de dados da cadeia produtiva de forma clara. Para o produtor, a adoção de técnicas de rastreabilidade confere maior valor agregado ao produto (Yiannas, 2018). A exemplo, empresas privadas do setor alimentício têm realizado alto investimento na adoção da tecnologia blockchain, para obtenção do rastreio em tempo reduzido, com maior transparência e eficiência (Wong et al., 2020).

A aplicação da tecnologia blockchain está presente também no campo da produção sustentável, rastreando e validando dados referentes à neutralidade de carbono de produtos ou empresas, nesta aplicação a tecnologia apresenta vantagens devido à possibilidade de lidar com grande quantidade de dados e age como um diferencial de mercado para os produtos (Ju et al., 2022). Com a implementação da rastreabilidade a partir da tecnologia blockchain, as informações acerca de toda a produção tornam-se mais simples, transparentes, confiáveis e seguras para todos os elos da cadeia produtiva. Diante disso, esta revisão sistemática de literatura foi realizada com o objetivo de abordar a importância da rastreabilidade de produtos alimentícios de origem agropecuária, a partir da utilização da tecnologia blockchain nos sistemas de produção e comercialização e como essa tecnologia tem sido implementada.

A revisão sistemática de literatura foi organizada por itens. Nos itens 1.2 e 1.3, são apresentados os conceitos e aplicações de rastreabilidade animal e blockchain, a fim de se ter um melhor entendimento do tema. No item 1.4 é descrita a metodologia utilizada na concepção deste estudo. No item 1.5 são apresentados os resultados e discussão. Por fim, no item 1.6 encontram-se as considerações finais.

1.2 RASTREABILIDADE ALIMENTAR

Exigir a rastreabilidade é uma forma de evitar a entrada de produtos sem qualidade ou segurança em uma cadeia produtiva, essa exigência facilita também a identificação de etapas fora da normalidade, auxilia na implantação rápida de medidas de contenção e também na atribuição de responsabilidades (Chapaval & Alves, 2008). Quanto melhor a qualidade do sistema de rastreamento, maior é a agilidade na identificação e solução de problemas de segurança e qualidade pelos envolvidos (Golan et al., 2004).

Diferentes autores propõem estruturas e modelos para lidar com a complexidade da rastreabilidade da cadeia produtiva de alimentos. Regattieri et al. (2007) apresentaram um sistema de rastreabilidade que utiliza um código de identificação por radiofrequência, para rastrear queijos. Shanahan et al. (2009) desenvolveram um sistema de rastreabilidade que também utiliza radiofrequência com identificadores biométricos, para rastrear bovinos antes do abate, identificando sua trajetória. Folinas et al. (2006) desenvolveram uma aplicação móvel e em tempo real para rastrear alimentos de origem animal, frescos e sem processamentos.

Embora existam muitos modelos e estruturas para rastreabilidade alimentar, o índice de implantação nas cadeias produtivas ainda é relativamente baixo, uma vez que estes sistemas de rastreabilidade são dependentes de um banco de dados, que permite armazenar e consultar as informações. Os bancos de dados digitais para rastreabilidade possuem um custo de implementação, operação e manutenção, que requerem investimento financeiro e mão de obra qualificada (Karippacheril et al., 2017). E também, a credibilidade da rastreabilidade pode ser reduzida se esse sistema de armazenamento for centralizado, o que não confere total transparência (Scholten et al., 2016). Em contrapartida aos métodos convencionais de registro de dados, que possuem gerenciamento centralizado, expondo os dados relativos à cadeia de produção à riscos de violação, e alto custo de implantação, a tecnologia blockchain pode ser usada para rastrear os produtos alimentícios e armazenar as informações com facilidade, agilidade, segurança e menor custo (Yiannas, 2018).

Atualmente, alguns consumidores exigem transparência, confiabilidade e rastreabilidade das informações referentes à cadeia produtiva, e consideram a rastreabilidade como um atributo de sustentabilidade (Burnier et al., 2021). A rastreabilidade da carne bovina é muito valorizada pelos consumidores, uma vez que é essencial conhecer a origem do animal e os processos de transformações ocorridos ao longo da cadeia produtiva (Loureiro & Umberger, 2007). Isso tem feito com que o grau de adoção de sistemas de rastreabilidade nas cadeias de produção de alimentos venha crescendo.

1.3 BLOCKCHAIN

O blockchain é um sistema de banco de dados digital compartilhado, em que os dados estão interconectados formando uma corrente. Nesse sistema, toda transação entre dois participantes é registrada permanentemente no blockchain, e esses registros levam o nome de blocos, enquanto que cada máquina computacional usada para o processamento do blockchain é denominada de nó. Cada bloco possui características pré-definidas e um código único, denominado hash. O hash é responsável pela comunicação entre os blocos, além de realizar a conexão do bloco com seu bloco antecessor e ao bloco seguinte, formando assim uma corrente de blocos (Garg & Kumar, 2021). Para modificar os dados do blockchain é necessário alterar o código hash. Isso demanda um grande esforço operacional, o que requer tempo e alta capacidade de processamento. Dessa forma, a ação de adulteração de dados se torna inviável, fazendo com que o blockchain se caracterize por ser um banco de dados imutável (Monfared, 2016). Ao contrário dos sistemas de banco de dados convencionais, no blockchain não existe uma autoridade central que controla o sistema, todos os membros da rede possuem a mesma autoridade (Monfared, 2016).

Existem diferentes tipos de blockchain: o público, o privado e o híbrido, categorizado com base nos usuários que acessam a tecnologia. A diferença entre eles consiste na permissão conferida ao acesso. No blockchain público qualquer pessoa acessa a rede, esse tipo é importante para casos de uso corporativo, um exemplo desse tipo é o Bitcoin. Já no blockchain privado, existe um controle de acesso à rede, com base em permissões estabelecidas. O tipo híbrido é gerenciado de forma com que algumas informações e permissões fiquem restritas para alguns participantes, e por isso é comumente o mais utilizado (Garg & Kumar, 2021). Tanto o blockchain privado quanto o público possuem estruturas para aplicações em diferentes ramos (Yang et al., 2020).

As implementações de blockchain são pautadas normalmente em cinco princípios que fundamentam a sua tecnologia (Brophy, 2020). São eles: I) banco de dados distribuído, em que uma cópia dos dados é armazenada em cada nó da blockchain. II) Transmissão ponto a ponto, cada usuário da rede armazena e transmite informações diretamente para toda a rede, sem a necessidade de intermediários, III) Transparência, toda transação é visível a qualquer integrante que tenha acesso a rede. IV) Irreversibilidade de registro, após armazenado, os dados não podem ser alterados. V) Programação computacional, permite aplicações futuras dos dados (Xie et al., 2018).

O blockchain possibilita a rastreabilidade de toda a cadeia produtiva e até mesmo a inclusão, de maneira fácil, de órgãos reguladores para a certificação desse processo dentro da própria rede (Shingh et al., 2020). O seu uso é ascendente nas instituições privadas do ramo alimentício, atuando como uma ferramenta facilitadora da logística de rastreio. Por isso, várias empresas começam a envolver a tecnologia blockchain em suas cadeias produtivas, como a Walmart Organization no rastreio de produtos suínos, o MC Donald's no rastreio de ovos e também empresas como a Nestlé e a JBS empregam a tecnologia no rastreio de alimentos produzidos (Kshetri, 2018).

Creydt & Fischer (2019) revelam o potencial transformador do blockchain em suprir desafios como a falta de transparência e a rastreabilidade total de diversas cadeias produtivas. Também, Hua et al. (2018) sugerem a utilização do blockchain na rastreabilidade de alimentos e no registro de operações ao longo de toda cadeia produtiva, incluindo cadeias de produção agropecuárias, impactando positivamente na lucratividade (Chang et al., 2020). Porém, apesar do grande potencial da tecnologia blockchain e do uso ascendente por parte de algumas iniciativas privadas, ainda são poucas as aplicações destinadas ao uso agropecuário registradas na literatura.

1.4 METODOLOGIA

Essa revisão sistemática de literatura foi desenvolvida para a investigação das seguintes questões: como a tecnologia blockchain atua na rastreabilidade dos produtos alimentícios de origem animal? Quais as cadeias produtivas que possuem relatos de aplicação da tecnologia blockchain? Qual a importância da tecnologia blockchain para o setor? Para isso foi utilizada uma variação técnica do método PICO (Problema, Intervenção, Comparação e Desfecho), o emprego do acrônimo PVO (Brereton et al., 2007), em que, P corresponde à situação do problema (cadeia produtiva de produtos de origem animal), V às variáveis de estudo (plataforma blockchain, alimentos de origem animal rastreados) e o O refere-se ao resultado esperado (usabilidade da tecnologia blockchain).

Os critérios de inclusão dos estudos foram: o estudo deve estar publicado em língua inglesa e apresentar aplicação da tecnologia blockchain sob a rastreabilidade de produtos de origem animal, de qualquer espécie. O critério de exclusão foi que os artigos deveriam contemplar a pesquisa científica e/ou o desenvolvimento de tecnologia. Segundo esse critério, foram eliminadas publicações que tratassem de revisões bibliográficas. Outro critério de

exclusão foi que as publicações deveriam contemplar a cadeia de produtos de origem animal. O ano de publicação não foi adotado como critério na busca dos estudos, uma vez que o blockchain é uma tecnologia recente.

A busca de artigos científicos foi realizada em outubro de 2022. Os artigos foram obtidos por meio eletrônico em duas bases de dados (Scopus e Web of Science), incluindo quatro áreas de pesquisa (ciências agrárias, produção animal, tecnologia de alimentos e tecnologia da informação). Posteriormente, uma busca complementar foi realizada para incluir documentos que não foram encontrados na busca principal. Para a busca bibliográfica, foram usados dois descritores: *((blockchain) AND (traceability) AND (animal products))* e *((blockchain) AND (food))*. O resultado dessa busca bibliográfica é apresentado na Tabela 1.1, em que se apresenta o número de artigos totais da busca e o número de artigos selecionados com base nos critérios de inclusão e exclusão.

Tabela 1.1 – Total de artigos e artigos selecionados de acordo com a busca realizada com os dois descritores

Descritores	Total da busca de artigos	Artigos selecionados
<i>((blockchain) AND (traceability) AND (animal products))</i>	22	7
<i>((blockchain) AND (food))</i>	322	12

Então para esse estudo foi selecionado o descritor *((blockchain) AND (food))*, tendo em vista o maior número de artigos selecionados com o mesmo, como mostra a Tabela 1.1. O processo de busca com este descritor resultou em um total de 322 artigos, que foram filtrados com base nos critérios de inclusão e exclusão. Ao final foram selecionados para o presente estudo um total de 12 artigos. Dos artigos rejeitados com base nos critérios de inclusão e exclusão, 58,33% são estudos do tipo revisão bibliográfica e 41,67% são estudos que não tratam de uma aplicação blockchain dentro de alguma cadeia de produção animal. Os artigos duplicados também foram identificados e excluídos também nessa fase. Com o objetivo de responder às questões de pesquisa, extraiu-se as informações básicas que contêm o título da publicação, nomes dos autores, país e o ano da publicação, e informações relacionadas ao estudo que incluem objetivos, aplicação blockchain, cadeia produtiva rastreada e resultados obtidos.

1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição do ano de publicação dos artigos selecionados é apresentada na Figura 1.1 em termos de números de publicações. As publicações datam o ano de 2016 como o início, visto que não foi aplicado como critério de elegibilidade o ano de publicação. Isso comprova que o uso da tecnologia blockchain nesta área é recente. Observa-se com o passar dos anos uma taxa de crescimento de publicações, evidenciando o emergente potencial da tecnologia blockchain na rastreabilidade dos produtos de origem animal. A queda no ano de 2022 provavelmente se deve ao fato da pesquisa ter sido concluída antes do final desse ano.

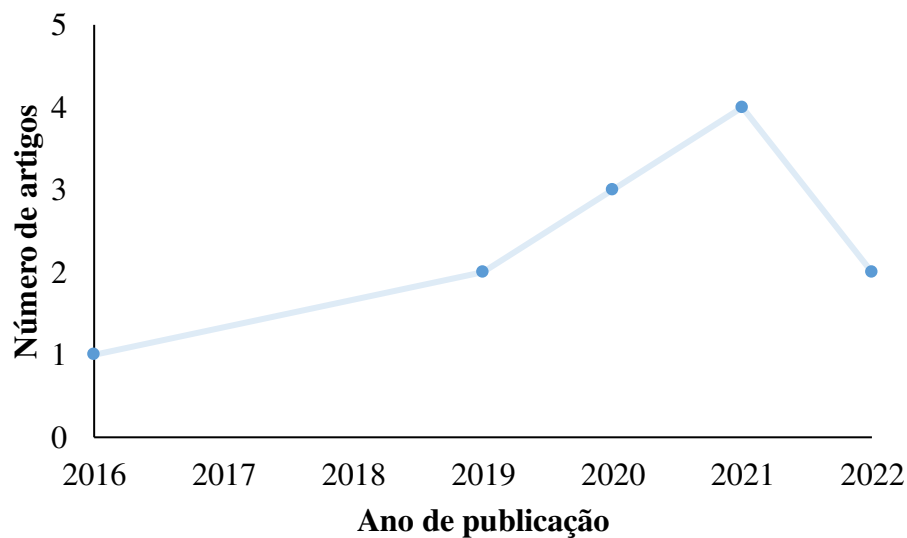


FIGURA 1.1. Ano de publicação dos artigos selecionados em função do número de publicações

A distribuição geográfica dos artigos selecionados é representada na Figura 1.2. Esta distribuição demonstra que a tecnologia blockchain no campo da rastreabilidade da cadeia produtiva de produtos de origem animal desperta interesse de pesquisas em vários países do mundo. Na Figura 1.3 é apresentada a distribuição dos produtos de origem animal que foram rastreados via blockchain nos artigos selecionados. A carne bovina foi o produto que apareceu em 42% dos artigos selecionados, seguido pelo leite, com 34%. A carne de peixe, a carne suína e o ovo, foram produtos rastreados em 8% dos artigos selecionados.

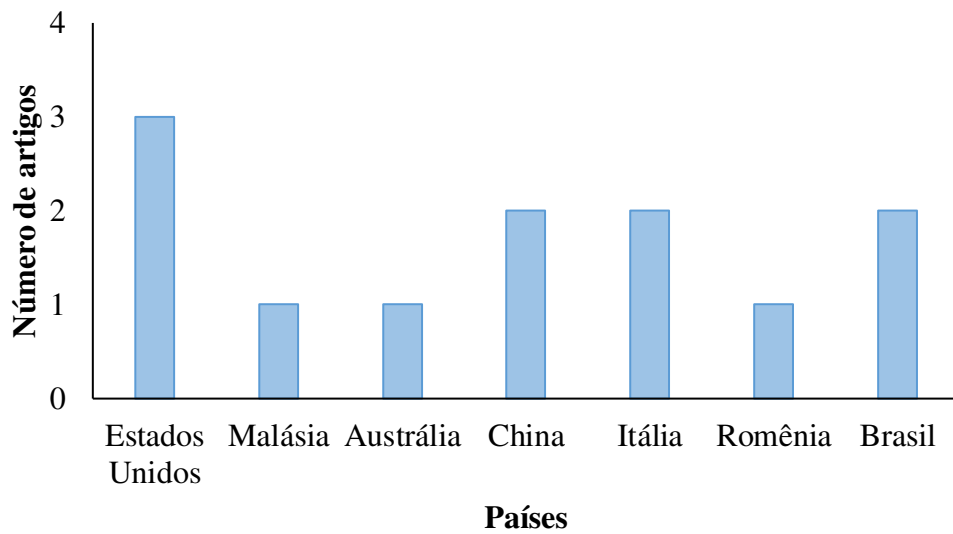


FIGURA 1.2. Distribuição geográfica dos artigos selecionados

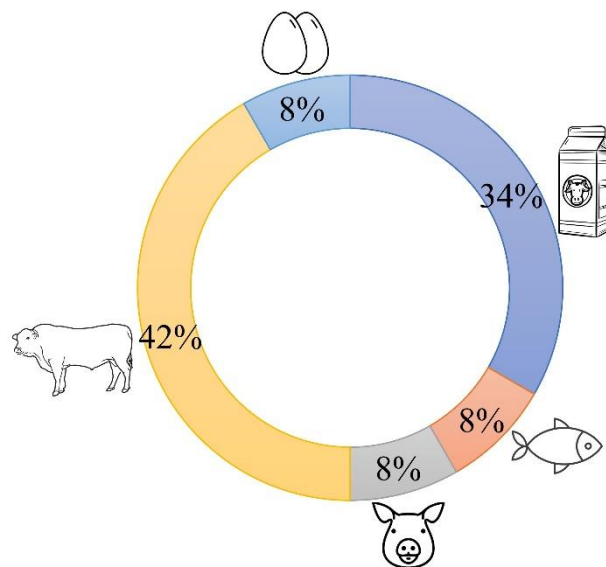


FIGURA 1.3. Percentual dos produtos de origem animal rastreados nos artigos selecionados

Na Tabela 1.2, tem-se a lista dos artigos selecionados, seus respectivos autores, objetivos e a cadeia de produção em que foi aplicada a tecnologia blockchain. É possível verificar que a tecnologia blockchain tem sido utilizada na rastreabilidade de vários produtos alimentícios advindos da produção animal, o leite, o ovo, a carne de peixe, suína e bovina têm sido publicados. As publicações listadas na Tabela 1.2 enfatizam que a adoção pela tecnologia blockchain se dá devido a credibilidade e a segurança oferecida pela mesma, visto que as

cadeias produtivas buscam sempre por um sistema de rastreabilidade seguro, íntegro e confiável. A tecnologia blockchain eleva a confiança dos consumidores para os produtos rastreados (Papa, 2017). Além da possibilidade de abranger toda a cadeia de produção que a tecnologia blockchain oferece, atendendo o objetivo dos trabalhos que tem por pretensão integrar todas as partes da cadeia, bem como o consumidor final.

TABELA 1.2 - Relação dos artigos selecionados, detalhando autores, objetivo e cadeia produtiva rastreada com uma aplicação blockchain.

ID	Autores e Ano	Cadeia produtiva	Objetivo
1	Tradigo et al. (2019)	Leite	Desenvolver, com base em blockchain, um sistema capaz de monitorar e rastrear toda a cadeia produtiva de produtos agropecuários, e aplicar na cadeia de produção de leite.
2	Marin et al. (2019)	Leite	Criar uma plataforma blockchain para esclarecer a origem do leite aos consumidores, trazendo informações referente ao manejo e sanidade animal, beneficiamento e transporte do produto.
3	Mazzù et al. (2021)	Leite	Avaliar a percepção dos consumidores ao receber informações rastreadas do leite adquirido via um sistema de rastreamento blockchain.
4	Du et al. (2020)	Carne de peixe	Otimizar um sistema de rastreabilidade com base em blockchain e implementar esse sistema na cadeia de produção de peixes, fortalecendo a confiança das informações.
5	Nadhirah Hamidi et al. (2021)	Carne bovina	Propor o uso do blockchain na cadeia de suprimentos de carne bovina para buscar a transparência em todo o processo produtivo.
6	Lin et al. (2022)	Carne bovina	Avaliar a demanda por carne bovina rastreada via um aplicativo baseado na tecnologia blockchain.
7	Cao et al. (2021)	Carne bovina	Fortalecer a comercialização entre dois países com o rastreamento completo da cadeia produtiva, tendo como base uma aplicação blockchain.

8	Shew et al. (2022)	Carne bovina	Avaliar em escala experimental uma aplicação blockchain implementada na cadeia produtiva da carne bovina.
9	Felippe et al. (2021)	Carne bovina	Desenvolver uma aplicação blockchain aplicada ao rastreamento de toda a cadeia produtiva da carne bovina.
10	Bumblauskas et al. (2020)	Ovos	Criar uma plataforma para visualização da origem do produto, baseada na tecnologia blockchain.
11	Mendonça et al. (2020)	Leite	Desenvolver uma arquitetura para rastrear a cadeia produtiva do leite via blockchain para armazenar e validar os dados coletados nos vários pontos de controle do produto.
12	Hackett (2016)	Carne suína	Rastrear a origem do produto por uma questão de segurança alimentar e para agregar valor ao produto.

Dos artigos selecionados nem todos apresentaram com clareza a plataforma utilizada para a sua aplicação blockchain, porém quatro dos artigos relatam usar a plataforma Ethereum, uma plataforma pública. E três dos artigos relatam o uso da plataforma Hyperledger, essa privada. Os demais artigos não apresentam essa informação. Portanto, entende-se que as plataformas Ethereum e Hyperledger são mais comuns de serem utilizadas para esse tipo de aplicação, visto que são plataformas já consolidadas e bem estabelecidas no mercado para esse fim (Felippe & Demanboro, 2021).

1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos artigos selecionados nesta revisão sistemática de literatura, observa-se que o uso da tecnologia blockchain na rastreabilidade alimentar vem sendo gradativamente adotado pelo setor de produção animal desde 2016, visando integridade dos dados armazenados e agilidade na consulta dos mesmos, satisfazendo assim a preocupação dos consumidores com a procedência dos seus alimentos. A tecnologia blockchain está presente em vários países, e se mostra promissora no ramo da rastreabilidade de produtos de origem animal, mesmo perante à grande complexidade das cadeias produtivas do setor, visto que a tecnologia pode abranger completamente a cadeia de forma segura e com informações claras. A carne bovina foi o

produto mais rastreado, seguido pelo leite, ovos e carne de peixe e suína. Na maioria dos artigos selecionados utilizou-se as plataformas Ethereum e Hyperledger na aplicação blockchain para rastreabilidade dos produtos. O uso da tecnologia blockchain é útil para todos os seus diferentes objetivos, porém, apesar do enorme potencial e da sua importância, ainda são poucos os estudos que demonstram a aplicabilidade da tecnologia na cadeia produtiva de produtos de origem animal.

1.7 REFERÊNCIAS

- 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.org/10.1016/j.foodcont.2015.05.005>
- Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4), 571–583. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>
- Brophy, R. (2020). Blockchain and insurance: a review for operations and regulation. In *Journal of Financial Regulation and Compliance* (Vol. 28, Issue 2, pp. 215–234). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/JFRC-09-2018-0127>
- Bumblauskas, D., Mann, A., Dugan, B., & Rittmer, J. (2020). A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? *International Journal of Information Management*, 52, 102008. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2019.09.004>
- Burnier, P. C., Spers, E. E., & Barcellos, M. D. de. (2021). Role of sustainability attributes and occasion matters in determining consumers' beef choice. *Food Quality and Preference*, 88, 104075. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104075>
- Cao, S., Powell, W., Foth, M., Natanelov, V., Miller, T., & Dulleck, U. (2021). Strengthening consumer trust in beef supply chain traceability with a blockchain-based human-machine reconcile mechanism. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105886>
- Chang, Y., Iakovou, E., & Shi, W. (2020). Blockchain in global supply chains and cross border trade: a critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2082–2099. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1651946>
- Chapaval, L., & Alves, F. S. (2008). *Rastreabilidade na produção de leite de cabra*.
- Corallo, A., Paiano, R., Guido, A. L., Pandurino, A., Latino, M. E., & Menegoli, M. (2018). Intelligent monitoring Internet of Things based system for agri-food value chain traceability and transparency: A framework proposed. *2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/EESMS.2018.8405814>
- Creydt, M., & Fischer, M. (2019). Blockchain and more - Algorithm driven food traceability. *Food Control*, 105, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.05.019>
- Du, Z., Wu, Z., Wen, B., Xiao, K., & Su, R. (2020). Traceability of animal products based on a blockchain consensus mechanism. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 559(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/559/1/012032>
- Felippe, A. D., & Demanboro, A. C. (2021). Smart Contracts and Blockchain: An Application Model for Traceability in the Beef Supply Chain. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 201, 499–508. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57548-9_47

- Folinas, D., Manikas, I., & Manos, B. (2006). Traceability data management for food chains. In *British Food Journal* (Vol. 108, Issue 8, pp. 622–633). <https://doi.org/10.1108/00070700610682319>
- Garg, L., & Kumar, K. (2021). Application of distributed ledger technology Blockchain in agriculture and allied sector: A review. ~ 215 ~ *The Pharma Innovation Journal*, 2, 215–221. <http://www.thepharmajournal.com>
- Golan, E., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K., & Price, G. (2004). *Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industry Studies*. www.ers.usda.gov.
- Hackett, R. (2016). *Walmart and IBM Partner to Put Chinese Pork on a Blockchain*. *Fortune*. <https://fortune.com/2016/10/19/walmart-ibm-blockchain-china-pork/>
- Hocquette, J.-F., Richardson, R. I., Prache, S., Medale, F., Duffy, G., & Scollan, N. D. (2005). The future trends for research on quality and safety of animal products. *Italian Journal of Animal Science*, 4(sup3), 49–72. <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.3s.49>
- Hua, J., Wang, X., Kang, M., Wang, H., & Wang, F.-Y. (2018). Blockchain Based Provenance for Agricultural Products: A Distributed Platform with Duplicated and Shared Bookkeeping. *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 97–101. <https://doi.org/10.1109/IVS.2018.8500647>
- Ju, C., Shen, Z., Bao, F., Weng, P., Xu, Y., & Xu, C. (2022). A Novel Credible Carbon Footprint Traceability System for Low Carbon Economy Using Blockchain Technology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10316. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610316>
- Karippacheril, T. G., Rios, L. D., & Srivastava, L. (2017). Global Markets, Global Challenges: Improving Food Safety and Traceability While Empowering Smallholders Through ICT. In *ICT in Agriculture (Updated Edition): Connecting Smallholders to Knowledge, Networks, and Institutions* (pp. 283–308). The World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1002-2_Module11
- Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005>
- Lin, W., Ortega, D. L., Ufer, D., Caputo, V., & Awokuse, T. (2022). Blockchain-based traceability and demand for U.S. beef in China. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44(1), 253–272. <https://doi.org/10.1002/aep.13135>
- Loureiro, M. L., & Umberger, W. J. (2007). A choice experiment model for beef: What US consumer responses tell us about relative preferences for food safety, country-of-origin labeling and traceability. *Food Policy*, 32(4), 496–514. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.11.006>
- Marassi Martins, F., & Lopes, M. A. (2003). *RASTREABILIDADE BOVINA NO BRASIL*.
- Marin, M.-P., Marin, I., & Vidu, L. (2019). *LEARNING ABOUT THE REDUCTION OF FOOD WASTE USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY*. 3274–3277. <https://doi.org/10.21125/inted.2019.0856>

- Mazzù, M. F., Marozzo, V., Baccelloni, A., & De' Pompeis, F. (2021). Measuring the effect of blockchain extrinsic cues on consumers' perceived flavor and healthiness: A cross-country analysis. *Foods*, *10*(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061413>
- Mendonça, R. D., Gomes, O. S., Pereira, P. C., Vieira, A. B., & Nacif, J. A. (2020). Utilização de Blockchain na Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Leite. *Workshop Em Blockchain: Teoria, Tecnologias e Aplicações (WBlockchain)*, 55–60. <https://doi.org/10.5753/WBLOCKCHAIN.2020.12433>
- Monfared, R. (2016). Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. In *Accepted to the International Journal of Research in Engineering and Technology-IJRET* (Issue 09). <http://esatjournals.net/ijret/2016v05/i09/IJRET20160509001.pdf> MetadataRecord:<https://dspace.lboro.ac.uk/2134/22625>
- Nadhirah Hamidi, A., Zahid Junejo, A., Maqbool Memon, M., & Ahmed Hashmani, M. (2021). Smart Beef-Quality Tracking in Malaysia using Blockchain Technology. *Journal of Independent Studies and Research Computing*, *19*(2412–0448).
- Nakamoto, S. (2009). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. www.bitcoin.org
- Papa, S. F. (2017). *Use of Blockchain Technology in Agribusiness: Transparency and Monitoring in Agricultural Trade*. <https://doi.org/10.2991/msmi-17.2017.9>
- Prache, S., Cornu, A., Berdagué, J. L., & Priolo, A. (2005). Traceability of animal feeding diet in the meat and milk of small ruminants. *Small Ruminant Research*, *59*(2–3), 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.004>
- Regattieri, A., Gamberi, M., & Manzini, R. (2007). Traceability of food products: General framework and experimental evidence. *Journal of Food Engineering*, *81*(2), 347–356. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.032>
- Scholten, H., Verdouw, C. N., Beulens, A., & van der Vorst, J. G. A. J. (2016). Defining and Analyzing Traceability Systems in Food Supply Chains. In *Advances in Food Traceability Techniques and Technologies* (pp. 9–33). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100310-7.00002-8>
- Shanahan, C., Kernan, B., Ayalew, G., McDonnell, K., Butler, F., & Ward, S. (2009). A framework for beef traceability from farm to slaughter using global standards: An Irish perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, *66*(1), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.12.002>
- Shew, A. M., Snell, H. A., Nayga, R. M., & Lacity, M. C. (2022). Consumer valuation of blockchain traceability for beef in the United States. *Applied Economic Perspectives and Policy*, *44*(1), 299–323. <https://doi.org/10.1002/aep.13157>
- Shingh, S., Kamalvanshi, V., Ghimire, S., & Basyal, S. (2020). Dairy Supply Chain System Based on Blockchain Technology. *Asian Journal of Economics, Business and Accounting*, 13–19. <https://doi.org/10.9734/ajeba/2020/v14i230189>
- Tradigo, G., Vizza, P., Veltri, P., & Guzzi, P. H. (n.d.). *An Information System to Track data and processes for food quality and bacterial pathologies prevention*.

- Vital, A. C. P., Guerrero, A., Kempinski, E. M. B. C., Monteschio, J. de O., Sary, C., Ramos, T. R., Campo, M. del M., & Prado, I. N. do. (2018). Consumer profile and acceptability of cooked beef steaks with edible and active coating containing oregano and rosemary essential oils. *Meat Science*, *143*, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.035>
- Wong, L.-W., Leong, L.-Y., Hew, J.-J., Tan, G. W.-H., & Ooi, K.-B. (2020). Time to seize the digital evolution: Adoption of blockchain in operations and supply chain management among Malaysian SMEs. *International Journal of Information Management*, *52*, 101997. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.005>
- Xie, Z., Dai, S., Chen, H.-N., & Wang, X. (2018). Blockchain challenges and opportunities: a survey. In *International Congress on Big Data* (Vol. 14, Issue 4).
- Yang, R., Wakefield, R., Lyu, S., Jayasuriya, S., Han, F., Yi, X., Yang, X., Amarasinghe, G., & Chen, S. (2020). Public and private blockchain in construction business process and information integration. *Automation in Construction*, *118*, 103276. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103276>
- Yiannas, F. (2018). A new era of food transparency powered by blockchain. *Innovations*, *12*.

CAPÍTULO 2

(Formatado de acordo com as normas da Revista Ciência Agronômica, onde o artigo já está submetido)

APLICAÇÃO BLOCKCHAIN PARA RASTREIO DE CARNE BOVINA NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO

APLICAÇÃO BLOCKCHAIN PARA RASTREIO DE CARNE BOVINA NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO

Hiago Henrique Rocha Zanetoni, Daniel Marçal de Queiroz, Andre Luiz de Freitas Coelho, Ronan Dutra Mendonça, Fernanda Campos de Sousa, Mario Luiz Chizzotti, Josué Campos Nunes, José Augusto Miranda Nacif

RESUMO: O uso da tecnologia Blockchain para rastrear cadeias produtivas é crescente em vista de sua segurança, imutabilidade e transparência. Atualmente os sistemas de rastreabilidade utilizados apresentam limitações que comprometem a sua credibilidade e a confiança dos consumidores nas informações. Por isso, torna-se necessário o desenvolvimento de um sistema transparente, descentralizado e que retorne em tempo hábil informações confiáveis. Assim, com o presente trabalho propõe-se o desenvolvimento e a implantação de um sistema de rastreabilidade de carne bovina com base na tecnologia emergente blockchain. Utilizou-se um tipo público de Blockchain, e o contrato inteligente foi estruturado entre as partes constituintes da cadeia produtiva. As informações de conforto térmico dos animais e de temperatura de armazenamento da carne foram inseridas de forma automatizada e as informações referentes aos animais foram inseridas de forma manual pelas partes envolvidas. O sistema desenvolvido permite acesso às informações pelos consumidores via QR Code, fixado na embalagem do corte cárneo. Os consumidores reconheceram a importância da rastreabilidade da carne bovina, porém nem todos se dispõem a pagar pela tecnologia. O custo do sistema desenvolvido encontra-se dentro da faixa de valor que a maioria dos consumidores informaram que estariam dispostos a pagar. O sistema de rastreabilidade desenvolvido retornou relatórios úteis em apoio ao processo de tomadas de decisões, podendo ser utilizado como uma ferramenta de gestão da cadeia produtiva. Os relatórios informativos direcionados ao consumidor final foram considerados satisfatórios e de fácil acesso.

Palavras-chave: Cadeia alimentar, Produção animal, Rastreabilidade, Segurança alimentar

ABSTRACT: The use of Blockchain technology to track production chains is increasing in view of its security, immutability and transparency. Currently, the traceability systems used have limitations that compromise their credibility and consumer confidence in the information.

Therefore, it is necessary to develop a transparent, decentralized system that returns reliable information in a timely manner. Thus, the present work proposes the development and implementation of a beef traceability system based on the emerging Blockchain technology. A public type of Blockchain was used, and the smart contract was structured between the constituent parts of the production chain. Information on the animals' thermal comfort and meat storage temperature were entered automatically and the information relating to the animals was entered manually by the parties involved. The developed system allows access to information by consumers via QR Code, fixed on the meat cut packaging. Consumers have recognized the importance of beef traceability, but not everyone is willing to pay for the technology. The cost of the developed system is within the range that most consumers informed they would be willing to pay. The traceability system developed returned useful reports to support the decision-making process, and can be used as a management tool for the production chain. The informative reports aimed at the final consumer were considered satisfactory and easily accessible.

keywords: Food chain, Animal production, Traceability, Food security

2.1 INTRODUÇÃO

A carne bovina é uma importante fonte de proteína na dieta humana e seu consumo depende de fatores socioeconômicos, tradicionais ou religiosos (MALAFAIA *et al.*, 2021). Atualmente é um alimento presente no hábito alimentar dos brasileiros, sendo parte da cultura gastronômica nacional (HÖTZEL *et al.*, 2022). Portanto, a indústria da carne bovina deve garantir a segurança alimentar e a qualidade dos produtos aos consumidores. É crescente o interesse do mercado consumidor em conhecer aspectos da cadeia produtiva como: a origem da carne bovina, o tipo de manejo e as condições impostas aos animais, o local de abate e o processamento, as condições de transporte e de armazenagem e a qualidade do corte cárneo (CAO *et al.*, 2021; JUNEJO *et al.*, 2021; SANDER *et al.*, 2018). Entretanto, os sistemas de rastreabilidade utilizados até então apresentam limitações, como possibilidade de adulterações dos dados por serem centralizados, invisibilidade e retardo na divulgação das informações aos consumidores (LIN *et al.*, 2022). Esses fatores comprometem a credibilidade do sistema e a confiança dos consumidores nas informações, carecendo então de um sistema que seja transparente, descentralizado e que retorne aos consumidores em tempo hábil informações confiáveis.

O blockchain é uma tecnologia emergente e pode ser definido como um livro distribuído que mantém uma lista crescente de registros de dados. Uma inserção de informação em um bloco de dados deve ser aceita por todos os outros participantes, sendo impossível aplicar qualquer mudança na rede sem o consenso público (DEMESTICHAS *et al.*, 2020). Os dados compartilhados são também criptografados, garantindo um alto nível de segurança, sendo isso um benefício importante da tecnologia. A tecnologia blockchain tem seu funcionamento com base em registro de transações de forma descentralizada e possibilita a utilização de contrato inteligente, um acordo contratual firmado entre as partes e registrado de maneira distribuída na própria rede (BRANDÃO *et al.*, 2018). Isso permite a interação confiável entre partes distintas da cadeia, sem a necessidade de uma instituição para fiscalização e auditorias.

Devido às características de não adulteração e de armazenamento distribuído, a tecnologia blockchain possui vantagens únicas no campo da rastreabilidade. Essa tecnologia é uma possível solução para o problema de fraudes, resultando em credibilidade e transparência para o sistema de rastreabilidade (CHEN *et al.*, 2021). Podendo melhorar de forma responsiva a rastreabilidade de qualquer cadeia produtiva, pois permite salvar e rastrear dados em todas as etapas de produção (KAMILARIS *et al.*, 2019). O uso da tecnologia blockchain é crescente e apresenta potencial transformador comprovado para a rastreabilidade das cadeias agroalimentares, incluindo a carne bovina, garantindo a autenticidade dos dados (LIN *et al.*, 2022; NADHIRAH HAMIDI *et al.*, 2021; CAO *et al.*, 2021). Entretanto, para que a autenticidade e a confiança do sistema de rastreabilidade sejam alcançadas é necessário que o sistema para rastreio abranja todo o processo produtivo, incluindo o sistema de criação do animal, manejo sanitário, abate, processamento, transporte, armazenamento e comercialização. Assim, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver e implantar um sistema de rastreabilidade de carne bovina com base na tecnologia blockchain, incluindo todo o processo produtivo. Além disso, o trabalho envolveu uma avaliação do potencial de empregabilidade do sistema desenvolvido, considerando a satisfação e uso do sistema pelos consumidores finais, e também estimar o custo de uso desse sistema de rastreabilidade.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de rastreamento foi desenvolvido com base na tecnologia blockchain e implantado na cadeia produtiva de carne bovina, em parceria com o Frigorífico Escola da Universidade Federal de Viçosa. Foram monitorados 26 animais, da raça Angus-Nelore, desde o nascimento, passando pelas fases de terminação e de abate, até a comercialização dos cortes

cárneos. A cadeia produtiva da carne bovina rastreada foi organizada em três macroprocessos: a produção dos animais, o abate e a comercialização do corte cárneo. Esses três macroprocessos foram executados por três entidades distintas: unidade de produção animal, indústria frigorífica e unidade de comercialização. Cada entidade informou os dados de seus macroprocessos no sistema desenvolvido. Nesse sistema os dados foram integrados e estruturados na forma de relatórios tanto para o consumidor final do corte cárneo quanto para a unidade de produção animal. A geração de relatórios com dados de interesse para a entidade indústria frigorífica e unidade de comercialização é possível, mas não foi implementada no presente trabalho.

2.1.1 Arquitetura do sistema baseada na tecnologia blockchain

O blockchain utilizado foi o Ethereum, blockchain do tipo público (DANNEN, 2017), em que todos podiam realizar consultas às informações. No entanto, apenas as entidades autorizadas podiam inserir informações no sistema. Sendo assim, a unidade de produção animal, a indústria frigorífica e a unidade de comercialização tiveram acesso ao sistema via um login válido, previamente registrado, para assim inserir seus respectivos dados no sistema. Como no desenvolvimento do sistema de rastreabilidade adotou-se a tecnologia blockchain, após a inserção dos dados, estes não podiam mais ser alterados ou excluídos. Cada entidade deveria verificar a veracidade do dado antes de confirmar a sua inserção.

A unidade de produção animal inseriu os dados referentes aos animais como dados de nascimento, de vacinas aplicadas, de castração e do sistema de terminação, além de dados ambientais que fazem inferência ao conforto térmico dos animais e de dados associados à venda do animal. A indústria frigorífica inseriu no sistema os dados referentes ao abate dos animais e à qualidade e massa dos cortes cárneos. A unidade de comercialização inseriu os dados referentes à conservação do corte cárneo até o momento da sua aquisição pelo consumidor final. Após a desossa da carcaça e separação dos cortes cárneos, foram atribuídos QR Codes únicos nos cortes nobres picanha, contrafilé, fraldinha e filé mignon.

Todos os dados inseridos no sistema de rastreabilidade pelas três entidades foram usados para elaboração dos relatórios de informações (Figura 2.1). Um relatório, destinado aos consumidores, acessado pelo QR Code do corte cárneo atribuído no momento da expedição (Figura 2.2). Ao escanear o QR Code o consumidor acessava as informações sobre a origem da carne, data, local e peso de nascimento do animal, vacinas recebidas, castração, dados do sistema de terminação e da condição de conforto térmico, peso de abate, índices que permitem mensurar a qualidade de carne, massa de cada corte cárneo e a temperatura de armazenamento do corte cárneo, constatado pela tecnologia blockchain.

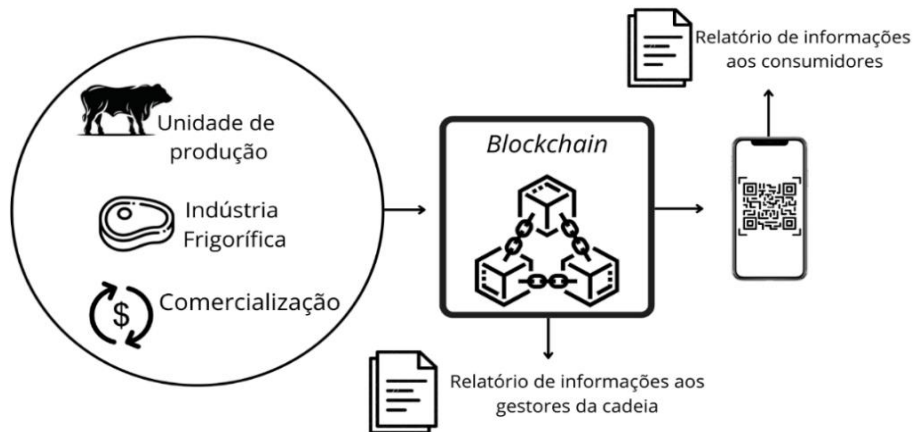


FIGURA 2.1. Arquitetura do sistema de rastreabilidade, contendo as três entidades (unidade de produção animal, indústria frigorífica e unidade de comercialização), a tecnologia blockchain para integração, a estruturação dos dados e os relatórios gerados.

FIGURA 2.2. Imagem do relatório ao consumidor final com os dados utilizados para a rastreabilidade armazenados no sistema desenvolvido.

Após a leitura das informações, se desejasse, o consumidor era redirecionado a um formulário para avaliação do sistema de rastreabilidade de carne desenvolvido. O segundo relatório, destinado aos gestores das unidades contidas na cadeia produtiva, apresentava informações relevantes, que poderiam ser utilizadas como ferramenta de apoio no processo de tomada de decisões.

O contrato inteligente foi escrito na linguagem de programação Solidity, que é a linguagem utilizada para esse fim dentro da plataforma Ethereum (DANNEN, 2017). Ele foi estruturado em quatro partes distintas dentro da cadeia de produção de carne bovina (unidade de produção animal, indústria frigorífica, unidade de comercialização e consumidor). O ambiente de desenvolvimento Truffle e a linguagem de programação Python foram utilizados

para operacionalização do sistema de rastreamento de carne bovina desenvolvido (TRUFFLE, 2021; PYTHON, 2021). Esse ambiente foi desenvolvido para trabalhar com a linguagem Solidity, sendo de fácil interação com o contrato inteligente e o acompanhamento do registro das transações efetuadas, e também o acompanhamento da variação dos valores. Previamente, o contrato inteligente foi compilado no ambiente de desenvolvimento Remix (REMIX ETHEREUM, 2021), a fim de assegurar que não existiam erros de execução, e então armazenado na cadeia de blocos, sendo executado como parte de cada transação.

2.1.2 Aquisição e inserção automatizada de dados

No sistema de rastreabilidade desenvolvido, os dados de temperatura e umidade relativa do ar da instalação de confinamento dos animais (unidade de produção animal) e da temperatura de armazenamento dos cortes cárneos embalados (unidade de comercialização) foram adquiridos, transmitidos e inseridos no sistema de forma integralmente automatizada.

Na instalação de confinamento dos animais, foi utilizado o sensor de temperatura e umidade relativa do ar BME280 (fabricado por Bosch Sensortec, Alemanha). O sensor de temperatura e umidade relativa do ar foi instalado próximo ao corredor de alimentação, na região central da instalação, aproximadamente a 1,8 m do piso. Esse sensor apresentava precisão de $\pm 1,0$ °C, faixa de operação de temperatura - 40 a 55 °C e precisão de $\pm 1,0$ % para umidade relativa na faixa de 0 a 100%. O sensor foi conectado a uma placa de desenvolvimento ESP8266 (fabricada por Espressif) sendo utilizado para coletar os dados em intervalos de 15 minutos. A temperatura e a umidade relativa do ar foram utilizadas para o cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), comumente utilizado na caracterização da condição de conforto térmico dos animais de produção (THOM, 1959), o cálculo se deu a partir da Equação 2.1 proposta por (BERMAN *et al.*, 2016).

$$ITU=3,43+1,058 T_{ar}-0,293U+0,0164 T_{ar} U+35,7 \quad (2.1)$$

Em que:

ITU = índice de temperatura e umidade;

T_{ar} = Temperatura do ar (°C);

U = Umidade relativa do ar (%).

A fim de otimizar o uso do sistema de rastreabilidade, apenas os dados de ITU fora da faixa de conforto térmico foram transmitidos. Essa transmissão consistiu no uso de rede sem fio para envio do dado de ITU para um banco de dados com tecnologia SQL hospedado em um servidor da Hostinger. O sistema blockchain fazia consultas constantes a esse banco de dados, e sempre que verificado a existência de um dado novo, este dado era inserido no próximo bloco a ser criado e validado. Como critério de classificação do ITU utilizou-se a faixa de conforto térmico recomendada por (BROWN BRANDL *et al.*, 2005). Estabelecendo que valores de ITU menor ou igual a 74 é tido como um cenário confortável, valores de 74 a 78 é considerado com um cenário de alerta, de 79 a 84 cenário perigoso e acima de 84 é tido como um cenário de emergência.

Na unidade de comercialização, a temperatura interna do refrigerador de armazenamento e exposição dos cortes cárneos foi monitorada utilizando um sensor DS18B20 (fabricado por Maxim Integrated). Esse sensor tinha uma precisão de $\pm 0,5$ °C e faixa de operação de -55 a 125 °C. O sensor foi conectado à uma placa de desenvolvimento ESP8266. A cada 15 minutos, o dado era coletado e o valor comparado a faixa ideal recomendada. Para efeito de rastreamento da temperatura de armazenamento da carne na unidade de comercialização foram registrados na blockchain apenas os períodos em que o sistema de armazenagem superou a temperatura de armazenamento recomendada por (COUTINHO, 2004) que é de 5 °C. Nesta situação, o dado era armazenado em um banco de dados SQL e posteriormente adicionado no próximo bloco a ser criado e validado.

2.1.3 Avaliação dos consumidores em relação ao sistema de rastreabilidade desenvolvido

A fim de avaliar o sistema de rastreabilidade de carne desenvolvido, foi elaborado um formulário, submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Viçosa (CEP/UFV), e disponibilizado de forma online aos consumidores.

Após o acesso às informações contidas no relatório, via QR Code, de forma anônima e voluntária os consumidores responderam às dez perguntas propostas no formulário. Essas perguntas permitiram: i) caracterizar o perfil dos consumidores; ii) obter a opinião do consumidor quanto ao sistema, como facilidade de acesso, tipo de conteúdo e compressão das informações contidas no relatório; e iii) obter qual valor, em US\$ / kg de carne, eles dispunham a pagar para terem a carne rastreada pelo sistema desenvolvido.

2.1.4 Custo do sistema de rastreabilidade desenvolvido

O custo total do sistema de rastreabilidade desenvolvido foi composto pelo custo inicial para o registro do contrato inteligente na blockchain Ethereum e os custos para a inserção das informações nos blocos. Neste último custo, considerou-se o custo de todas as transações necessárias para inserir as informações referentes aos 26 animais rastreados pelo sistema. A partir da massa de cortes cárneos nobres obtida no abate dos 26 animais e do custo total, calculou-se o custo de rastreabilidade unitário, ou seja, o custo para rastreabilidade de um quilograma de carne. Os custos foram convertidos da criptomoeda Ethereum (ETH) para dólar (US\$), considerando a cotação do ETH em 04 de abril de 2022.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a avaliação da satisfação e uso do sistema desenvolvido pelos consumidores finais, inicialmente realizou-se a caracterização socioeconômica destes (Figura 2.3). Ao todo 36 consumidores responderam corretamente o formulário de avaliação proposto, deste total, 52,78% eram do sexo feminino e 47,22% do sexo masculino, respectivamente, 19 e 17 indivíduos. Do total, 52,78% (19 indivíduos) possuíam de 18 a 29 anos de idade, 38,89% (14 indivíduos) possuíam de 30 a 50 anos de idade e 8,33% (3 indivíduos) possuíam idade acima de 50 anos. Dentre os consumidores a faixa de renda mensal familiar tem a seguinte distribuição, 55,56% dos consumidores (20 indivíduos) possuíam uma renda entre dois e quatro salários mínimos, 22,22% (8 indivíduos) possuíam renda acima de seis salários mínimos, 16,67% (seis indivíduos) afirmaram ter uma renda média familiar entre quatro e seis salários mínimos e 5,56% dos consumidores (dois indivíduos) declararam renda de até um salário mínimo. A maioria dos consumidores que responderam ao questionário eram do sexo feminino, tinham idade entre 18 e 29 anos e renda mensal familiar de dois a quatro salários mínimos.

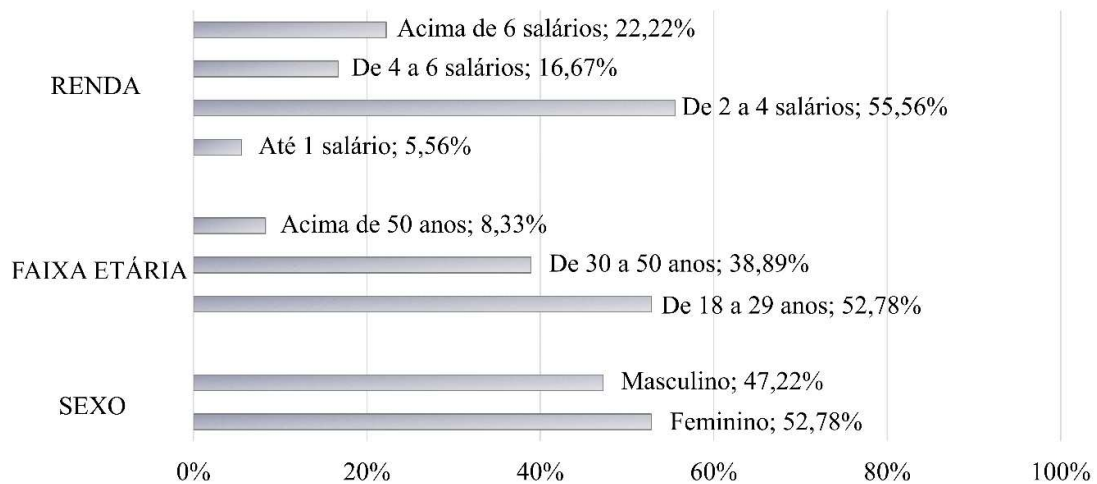


FIGURA 2.3. Perfil socioeconômico dos consumidores de carne bovina que utilizaram o sistema de rastreabilidade desenvolvido. Informações extraídas dos formulários on-line.

A satisfação dos consumidores com o sistema de rastreabilidade de carne bovina desenvolvido foi avaliada com base nas opiniões em relação à forma de acesso ao sistema, à complexidade e ao conteúdo das informações encontradas no relatório. Em relação ao acesso à interface gráfica do relatório de informações, 100% dos consumidores (36 indivíduos) consideraram fácil, visto que este acesso se deu via leitura de um QR Code fixado na embalagem do corte cárneo, por meio do aparelho celular dos consumidores. Em relação ao nível de complexidade das informações encontradas no relatório 56% dos consumidores (20 indivíduos) consideraram as informações nada complexas, ou seja, de fácil entendimento. Já 25% dos consumidores (9 indivíduos) consideraram como pouco complexas as informações contidas no relatório, sendo assim, de moderado entendimento. E 19% dos consumidores (7 indivíduos) opinaram que as informações eram complexas, ou seja, de difícil entendimento. Em relação a satisfação com o teor das informações contidas no relatório, 97% dos consumidores (35 indivíduos) consideraram satisfeitos e apenas 3% (1 indivíduo) não se sentiram satisfeitos com o teor das informações.

Ao serem questionados sobre a importância da rastreabilidade de carne bovina, 97% dos consumidores (35 indivíduos) afirmaram ser importante, enquanto apenas 3% (um indivíduo) afirmaram que a rastreabilidade da carne bovina não é importante. Isso mostra a preocupação dos consumidores em conhecer a origem de seus alimentos. Dados semelhantes foram encontrados por Junejo *et al.* (2021). Esses autores relatam que os consumidores de carne bovina demonstraram interesse em conhecer a origem da carne consumida, bem como os processos envolvidos na cadeia produtiva.

A disposição dos consumidores por pagarem pela rastreabilidade da carne bovina e sua quantificação é apresentada na Figura 2.4. Do total, 83,3% dos consumidores (30 indivíduos) pagariam para consumir uma carne rastreada, já 16,7% dos consumidores (6 indivíduos) não pagariam pela rastreabilidade da carne. Dos consumidores dispostos a pagar pela rastreabilidade da carne bovina, 42% (15 indivíduos) pagariam até R\$ 1,00 a mais por cada quilo de carne rastreada; e 36% dos consumidores (13 indivíduos) pagariam de R\$ 1,00 a R\$ 2,00 a mais por quilo de carne rastreada. Já 14% (5 indivíduos) pagariam de R\$ 2,00 a R\$ 4,00 a mais por cada quilo e somente 8% (três indivíduos) se mostraram dispostos a pagar mais que R\$ 4,00 por quilo de carne bovina rastreada. Sendo assim, tem-se que o aumento no valor do quilo da carne rastreada é inverso à disposição dos consumidores a pagar por ele. A preferência pelos consumidores dispostos a pagar é maior pelo menor valor proposto, semelhante aos resultados encontrados por Lin *et al.* (2022), comparando formas de rastreio de carne, concluíram que os consumidores investigados tendem a pagar o menor valor proposto pelo quilo de carne rastreada, cerca de US\$ 0,63 por libra de carne.

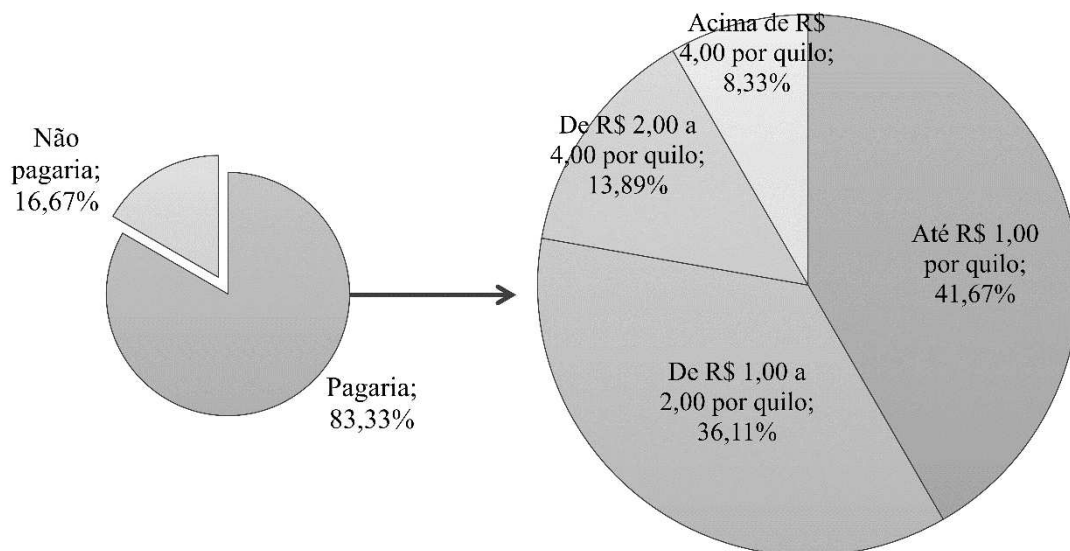


FIGURA 2.4. Disposição e quantificação do pagamento a mais por quilo de carne bovina rastreada.

Um total de 362 transações foram necessárias para registrar na blockchain Ethereum todas as informações referentes aos 26 animais abatidos, isso gerou um custo total de US\$ 152,29. A transação com valor mais expressivo é referente ao registro do contrato inteligente,

cerca de US\$ 7,00, as demais transações não ultrapassam US\$ 1,00 cada. Ao final, um total de 410,27 quilos de carne foram rastreados e comercializados, então o custo de rastreabilidade unitário foi de US\$ 0,37 para cada quilo de carne. Vale ressaltar, que o valor do custo unitário se encontra dentro da faixa de valor que os consumidores aqui entrevistados se dispunham a pagar.

As informações contidas no sistema de rastreabilidade desenvolvido foram estruturadas em relatórios, sendo um destinado ao consumidor do corte carne e os outros destinados aos gestores das unidades contidas na cadeia produtiva. O relatório destinado ao consumidor final podia ser acessado via QR Code, fixado na embalagem do corte carne. A partir da análise das informações desse relatório, o consumidor tinha conhecimento de toda cadeia produtiva que resultou naquele corte carne.

Informações como ganho de peso na terminação e massa de corte carne nobre de cada animal são apresentadas na Tabela 2.1, e podem ser usadas pelo gestor da unidade de produção animal na escolha de raças, sistemas de terminação, definição de dietas entre outros fatores de criação. Na produção moderna de animais, adota-se as técnicas de zootecnia de precisão, em que a tomada de decisão é realizada com base em dados. Conceitualmente, a zootecnia de precisão busca alcançar a máxima lucratividade da produção animal (RACEWICZ *et al.*, 2021). Dados úteis para essa tomada de decisão podem ser obtidos pelos gestores das unidades da cadeia produtiva, de forma confiável, a partir do relatório gerado pelo sistema de rastreabilidade desenvolvido. Ainda, a tecnologia blockchain permite a geração de dados que pode ser usado no futuro para aperfeiçoar ainda mais a cadeia produtiva com base em análises de big data (YANO *et al.*, 2018).

Tabela 2.1- Ganho de peso, massa de cada corte carne nobre e total de cortes nobres (TCN) dos animais abatidos

	Ganho de peso (kg)	Contrafilé (kg)	Picanha (kg)	Fraldinha (kg)	Filé mignon (kg)	TCN (kg)
Média	200,34	6,82	1,29	5,91	1,76	15,78
Mediana	218,00	7,00	1,33	5,19	1,75	15,77
Desvio padrão	60,07	2,36	0,29	2,37	0,31	4,70
Mínimo	79,50	2,96	0,81	3,34	1,24	9,90
Máximo	298,00	11,94	1,91	12,30	2,52	28,20
Coefficiente de variação	29,98	34,58	22,44	40,11	17,62	29,76

De forma similar, outros relatórios podem ser implementados no sistema de rastreabilidade desenvolvido para apresentar informações que podem ser usadas também pela indústria frigorífica e pela unidade de comercialização em suas tomadas de decisão. Expandindo ainda mais a aplicabilidade do sistema de rastreabilidade, relatórios específicos para entidades fiscalizadoras (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Vigilância Sanitária, Organizações certificadoras, entre outras) podem ser gerados.

Os valores diários do índice de temperatura e umidade são apresentados na Figura 2.5. Esse índice é comumente utilizado na caracterização da condição de conforto térmico dos animais. O conforto térmico influencia diretamente no ganho de peso do animal, bem como na qualidade da carne (BAÊTA & SOUZA, 2010). A partir da análise dos valores diários, mínimo, médio e máximo, do ITU no local de confinamento dos 26 animais foi possível inferir sobre o conforto térmico animal.

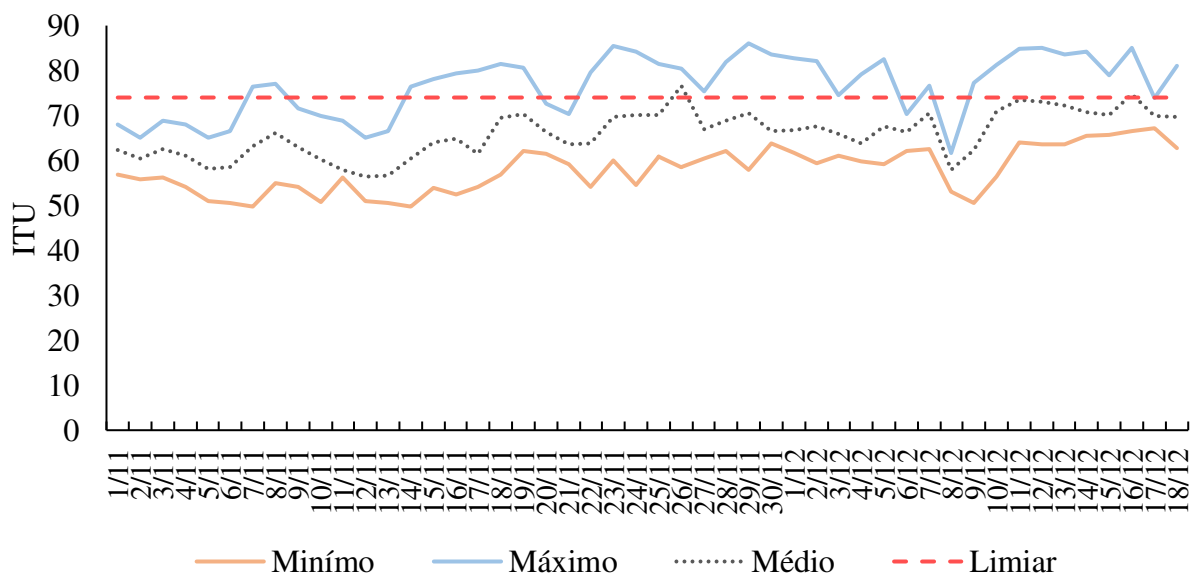


FIGURA 2.5. Gráfico do Índice de temperatura e umidade (ITU), com valores diários médio, máximo e mínimo em função do período analisado, e a faixa limiar de valores, acima desta os dados eram registrados na blockchain.

Para bovinos de corte em fase de terminação, o ITU menor ou igual a 74 é considerado normal, traduzindo um ambiente termicamente confortável aos animais. Já para valores de ITU entre 74 e 78, considera-se um cenário em condições de alerta, em que os animais podem estar susceptíveis ao estresse por calor. Entre 79 a 84, o cenário é de perigo e algumas medidas precisam ser adotadas para a reversão dessas condições. ITU acima de 84 representa

emergência, com risco de morte dos animais em consequência do alto estresse por calor (BROWN BRANDL *et al.*, 2005). Na maior parte do período considerado no presente estudo, em torno de 98% dos dias, os valores médios de ITU mantiveram-se dentro da faixa de conforto térmico, ou seja, valores abaixo de 74. Porém, em 58% do período analisado os valores de ITU máximos estiveram fora da faixa de conforto térmico, esse cenário provavelmente é explicado devido às elevadas temperaturas observadas em alguns horários do dia, provavelmente nas horas com ocorrência de maior intensidade de radiação solar, e também pela ausência de um sistema de ventilação mecânica, de forma a suplementar a ventilação natural da instalação.

A temperatura de armazenagem da carne na fase de comercialização tem seu comportamento apresentado na Figura 2.6. Verifica-se que a temperatura variou de -2 a 6 °C, essa amplitude de variação se deve a abertura das portas do refrigerador. Comercialmente admite-se que as temperaturas dos sistemas de armazenagem de carne devem ser iguais ou inferiores a 5 °C, entretanto a máxima temperatura de armazenamento de carne é de 7° C (COUTINHO, 2004). De acordo com os dados apresentados na Figura 2.6, pode-se verificar que em nenhum momento a temperatura no interior do sistema de armazenagem superou o limite estabelecido por (COUTINHO, 2004), preservando assim a qualidade dos cortes cárneos e mitigando a probabilidade de multiplicação microbiana.

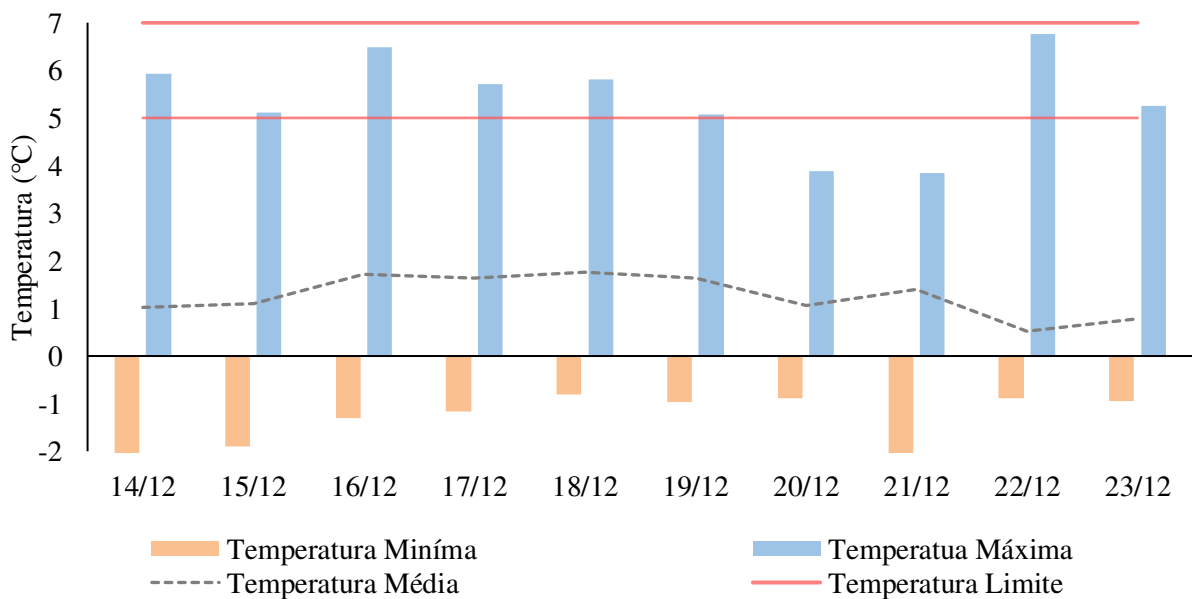


FIGURA 2.6. Gráfico do comportamento da temperatura de armazenagem dos cortes cárneos na fase de comercialização, com valores médios, máximos e mínimos do sistema de armazenagem, e valores de temperatura recomendados.

2.4 CONCLUSÕES

Apesar de considerarem a rastreabilidade da carne bovina importante, nem todos os consumidores estão dispostos a pagar por ela. Dentre os dispostos a pagar, a disposição da maioria é por pagar pelo menor valor por quilo de carne rastreada. O custo unitário do sistema de rastreabilidade desenvolvido encontrou-se dentro da faixa de valor que a maioria dos consumidores informou que estavam dispostos a pagar.

O sistema de rastreabilidade de carne bovina desenvolvido, com base na tecnologia emergente blockchain, retorna relatórios úteis em apoio de tomadas de decisões, podendo ser utilizado como uma ferramenta de gestão da cadeia produtiva. Os relatórios informativos direcionados ao consumidor final foram considerados satisfatórios devido ao teor das informações encontradas, mesmo alguns indivíduos apontando que as informações são complexas, os consumidores também consideram fácil a forma de acessar o sistema.

2.5 REFERÊNCIAS

BAÊTA, Fernando da Costa.; SOUZA, Cecília de Fátima. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. [S.l.]: Ed. UFV, 2010.

BERMAN, A. et al. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, n. 10, p. 1453–1462, out. 2016.

BRANDÃO, António; MAMEDE, Henrique São; GONÇALVES, Ramiro. Systematic Review of the Literature, Research on Blockchain Technology as Support to the Trust Model Proposed Applied to Smart Places. [S.l: s.n.], 2018. p. 1163–1174.

BROWN BRANDL, T.M. *et al.* Dynamic Response Indicators of Heat Stress in Shaded and Non-shaded Feedlot Cattle, Part 1: Analyses of Indicators. *Biosystems Engineering*, v. 90, n. 4, p. 451–462, abr. 2005.

CAO, Shoufeng *et al.* Strengthening consumer trust in beef supply chain traceability with a blockchain-based human-machine reconcile mechanism. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 180, 1 jan. 2021.

CHEN, Yuejing *et al.* A Traceability System of Livestock Products Based on Blockchain and the Internet of Things. 29 out. 2021, [S.l.]: IEEE, 29 out. 2021. p. 1–5.

COUTINHO, Luiz Carlos Mesquita. *Parâmetros de qualidade de cortes de carne bovina resfriada comercializados na cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: [s.n.], 30 jan. 2004. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/8430>>. Acesso em: 3 abr. 2022.

DANNEN, Chris. *Introducing ethereum and solidity: Foundations of cryptocurrency and blockchain programming for beginners*. [S.l.]: Apress Media LLC, 2017.

DEMESTICHAS, Konstantinos *et al.* Blockchain in Agriculture Traceability Systems: A Review. *Applied Sciences*, v. 10, n. 12, p. 4113, 15 jun. 2020.

HÖTZEL, Maria José; VANDRESEN, Bianca. Brazilians' attitudes to meat consumption and production: Present and future challenges to the sustainability of the meat industry. *Meat Science*, v. 192, p. 108893, out. 2022.

JUNEJO, Aisha Zahid; HASHMANI, Manzoor Ahmed; ALABDULATIF, Abdullah A. Blockchain-Based Transparent and Traceable Halal Food Supply Chain Management Systems. [S.l: s.n.], 2021. p. 462–490.

KAMILARIS, Andreas; FONTS, Agusti; PRENAFETA-BOLDY, Francesc X. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, v. 91, p. 640–652, set. 2019.

LIN, Wen *et al.* Blockchain-based traceability and demand for U.S. beef in China. *Applied Economic Perspectives and Policy*, v. 44, n. 1, p. 253–272, 1 mar. 2022.

MALAFAIA, Guilherme Cunha *et al.* The Brazilian beef cattle supply chain in the next decades. *Livestock Science*, v. 253, p. 104704, nov. 2021.

NADHIRAH HAMIDI, Aina *et al.* Smart Beef-Quality Tracking in Malaysia using Blockchain Technology. *Journal of Independent Studies and Research Computing*, v. 19, n. 2412– 0448, 2021.

PYTHON. *Welcome to Python.org*. Disponível em: <<https://www.python.org/>>. Acesso em: 3 abr. 2021.

RACEWICZ, Przemysław *et al.* Welfare Health and Productivity in Commercial Pig Herds. *Animals*, v. 11, n. 4, p. 1176, 20 abr. 2021.

REMIX ETHEREUM. *Remix*. Disponível em: <<https://remix.ethereum.org/#optimize=false&runs=200&evmVersion=null&version=soljson-v0.8.7+commit.e28d00a7.js>>. Acesso em: 3 mar. 2021.

SANDER, Fabian; SEMEIJN, Janjaap; MAHR, Dominik. The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal*, v. 120, n. 9, p. 2066–2079, 30 ago. 2018.

THOM, E. C. The Discomfort Index. *Weatherwise*, v. 12, n. 2, p. 57–61, abr. 1959.

TRUFFLE. *Truffle Suite*. Disponível em: <<https://trufflesuite.com/>>. Acesso em: 28 fev. 2021.
YANO, Inacio *et al.* *Bovine livestock tracking through smart contracts with Blockchain technology*. [S.l: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/329626470>>.

CAPÍTULO 3

(Formatado de acordo com as normas da Revista Engenharia Agrícola, onde o artigo já está submetido)

ALCANCE E CUSTO DE UM MODELO DE RASTREABILIDADE PAUTADO EM TECNOLOGIA BLOCKCHAIN PARA A CADEIA PRODUTIVA DA CARNE BOVINA

**ALCANCE E CUSTO DE UM MODELO DE RASTREABILIDADE PAUTADO EM
TECNOLOGIA BLOCKCHAIN PARA A CADEIA PRODUTIVA DA CARNE
BOVINA**

Hiago Henrique Rocha Zanetoni, Daniel Marçal de Queiroz, Andre Luiz de Freitas
Coelho, Mario Luiz Chizzotti, José Augusto Miranda Nacif

RESUMO: Um modelo de rastreabilidade de alimentos de origem animal se faz importante na garantia de qualidade e segurança alimentar aos consumidores. As cadeias produtivas foram otimizadas com o passar do tempo. O aumento da demanda mundial por alimentos vem tornando mais complexo o processo de rastreabilidade. O blockchain inicialmente aplicado ao mercado financeiro, é reconhecido por sua segurança em armazenar dados, descentralização e pela forma facilitada de acesso aos dados. Esses motivos o levaram a ser aplicado às cadeias produtivas, como ferramenta de rastreabilidade. Com isso o presente estudo teve por objetivo desenvolver um modelo de rastreabilidade pautado em blockchain para aplicação na cadeia produtiva de carne bovina, e avaliar o alcance desse modelo aos consumidores e o custo de implantação. O contrato inteligente do modelo envolveu quatro partes, em que uma das partes realizou apenas a leitura dos dados via um QR Code. Após a aplicação do modelo desenvolvido na cadeia produtiva da carne bovina e avaliação, houve um alcance significativo aos consumidores e estes valorizaram e deram credibilidade ao modelo de rastreabilidade desenvolvido, reconhecendo a sua importância. O custo de implantação do modelo foi o somatório do custo de registro do contrato inteligente, valor mais representativo, e do registro de todos os dados. O custo médio por kg de carne rastreada foi de 0,19 dólares.

PALAVRAS-CHAVE: Contratos inteligentes, Produção animal, Segurança alimentar

ABSTRACT: A traceability model for foods of animal origin is important in guaranteeing quality and food safety to consumers. Production chains have been optimized over time. The increase in world demand for food has made the traceability process more complex. Blockchain, initially applied to the financial market, is recognized for its security in storing data, decentralization and the facilitated way of accessing data. These reasons led it to be applied to

production chains, as a traceability tool. Thus, the present study aimed to develop a traceability model based on blockchain for application in the beef production chain, and to evaluate the reach of this model to consumers and the cost of implementation. The model's smart contract involved four parties, in which one of the parties only read the data via a QR Code. After the application of the model developed in the beef production chain and evaluation, there was a significant reach to consumers and they valued and gave credibility to the traceability model developed, recognizing its importance. The cost of implementing the model was the sum of the cost of registering the smart contract, the most representative value, and registering all the data. The average cost per kg of screened meat was US\$ 0.19.

KEYWORDS: Smart contracts, Animal production, Food security

3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente é responsável por produzir mais de 25% da carne bovina exportada no mundo, a carne bovina brasileira atinge dezenas de países, que exigem rigorosos padrões de qualidade (Abiec, 2022). Essas exigências internacionais para exportação de carne bovina obrigam os produtores a utilizarem algum método de rastreabilidade (Sander et al., 2018). Atualmente, o método mais usual para a rastreabilidade animal é por meio do uso de brincos RFID. Entretanto, entende-se que esse método apresenta algumas limitações no processo, o que compromete a confiabilidade da rastreabilidade, e que também ele não apresenta capacidade de rastrear toda a cadeia produtiva da carne (Lopes et al., 2007). Como ainda não existe no Brasil uma padronização de método para a rastreabilidade da carne bovina, cada produtor pode utilizar sua própria solução, dependendo do nível tecnológico da propriedade de produção e da disposição do produtor em investimentos financeiros (Marassi Martins et al., 2003). Esse fato pode ocasionar problemas, como produtos não rastreados no mercado, processos de rastreabilidades fraudados, comprometimento da segurança alimentar, e dificuldade para exportação da carne bovina.

A rastreabilidade permite aos consumidores a identificação da origem e dos processos aplicados ao produto antes deste chegar à mesa (Corallo et al., 2018), e junto a outras exigências garante a comercialização internacional da carne produzida no Brasil. Um desafio para a rastreabilidade está na complexidade das cadeias agroalimentares. Como cada etapa da cadeia

apresenta seus métodos de rastreio, há uma grande variedade de dados adquiridos, afetando assim a credibilidade e transparência desses dados. O blockchain permite a integração de todas as etapas da cadeia produtiva em um único cenário, padronizando os dados. E devido a sua arquitetura de funcionamento, atua como um sistema imutável, verificável, seguro e de fácil acesso aos dados (Junejo et al., 2021). Isso permite realizar a rastreabilidade do nascimento do animal até a comercialização da sua carne (Tiba et al., 2013). Assim, o objetivo desse estudo é fornecer um modelo de rastreabilidade pautado em blockchain, aplicá-lo à cadeia produtiva da carne bovina, englobando todas as etapas do processo, do nascimento do animal até a comercialização da carne, e avaliar o alcance desse modelo junto aos consumidores, bem como custo de implantação.

3.2 BLOCKCHAIN E CONTRATO INTELIGENTE

O conceito de blockchain surge na década de 90, mas só em 2008, com a ascensão das criptomoedas, adquire a dimensão que se conhece hoje (Nakamoto, 2009). O blockchain é um sistema de banco de dados digital compartilhado, em que os dados estão interconectados formando uma corrente. Toda operação realizada é registrada permanentemente no blockchain, e esses registros levam o nome de blocos, enquanto cada máquina computacional utilizada para o processamento do blockchain é denominada de nó. Cada bloco possui características pré-definidas e um código único, denominado hash. O hash é responsável pela conexão entre os blocos, formando assim a corrente de blocos (Garg et al., 2021). Para a adulteração dos dados do blockchain, faz-se necessário alterar o código hash. Isso demanda um grande processamento operacional, o que requer tempo e alta capacidade de processamento, fazendo com que a ação de adulteração seja inviabilizada, tornando o blockchain um banco de dados imutável (Monfared, 2016).

O blockchain é caracterizado pela capacidade de garantir transações seguras entre as partes envolvidas, e tem sido extensivamente utilizado no mercado financeiro, devido as criptomoedas (Kelly, 2016). Graças ao sucesso no mercado financeiro, o blockchain tem sido adotado nas cadeias produtivas. Ele pode ser utilizado como uma ferramenta de rastreabilidade, combinada com outras tecnologias como a internet das coisas (IoT) e RFID (Carbone et al., 2018). Quando empregado como ferramenta de rastreabilidade, o blockchain apresenta resultados satisfatórios, podendo fornecer muito mais do que apenas rastreabilidade segura, o aumento do retorno financeiro das empresas pode aumentar com a adoção do blockchain (Lin

et al., 2022). Iniciativas privadas já aplicam o blockchain para rastrear produtos de origem animal (Hackett, 2016), e estudos apontam crescimento da aplicação do blockchain neste setor (Bumblauskas et al., 2020). As aplicações blockchain na rastreabilidade de produtos de origem animal visam favorecer o processo de rastreabilidade, a saúde dos consumidores e agregar valor aos produtos. Porém, os autores não apresentam detalhes do desenvolvimento e funcionamento do sistema de rastreabilidade.

O contrato inteligente é parte fundamental do blockchain (Nakamoto, 2009). Trata-se de um protocolo de transação digital que executa tarefas específicas conforme regras pré-estabelecidas. O contrato inteligente estabelece um padrão de confiança entre as partes envolvidas, e possibilita que se realizem transações sem a necessidade de intermediários. Por ser baseado em blockchain, é altamente seguro, transparente e imutável. Os objetivos do contrato inteligente são garantir as condições contratuais estabelecidas, minimizar erros de execuções maliciosas ou equivocadas e excluir a necessidade de intermediários confiáveis (Felippe et al., 2021). Um contrato inteligente é um script criado e armazenado com endereçamento privado em um bloco, no próprio blockchain. Ele é acionado ao se endereçar uma transação para ele, automaticamente o script é executado de forma independente, conforme prescrito em todos os nós da rede de acordo com os dados incluídos na transação (Júnior et al., 2020).

3.2.1 Casos de uso do blockchain

Com o sucesso do blockchain no mercado financeiro, organizações e produtores têm aproveitado a transparência e a segurança envolvida no fluxo de dados (Manski, 2017) e empregado o blockchain na cadeia produtiva dos alimentos de origem animal, a fim de favorecer o processo de rastreabilidade (Divey et al., 2019). Neste sentido, um estudo foi realizado na Malásia, no ano de 2021. Preocupados com a segurança e qualidade da carne bovina consumida pela população, Nadhirah Hamidi et al., (2021) propuseram o uso do blockchain na cadeia produtiva de carne bovina a fim de garantir a transparência do processo de produção, de fortalecer a confiança dos consumidores no produto consumido, e de garantir uma carne mais saudável e livre de contaminações. Uma aplicação então foi desenvolvida, pautada nos princípios do blockchain, e testada em escala comercial. Este estudo mostrou a viabilidade da utilização do blockchain para rastreio da carne, garantindo um sistema de rastreabilidade transparente e acima de tudo seguro.

No Brasil, Felippe et al. (2021) desenvolveram também uma aplicação blockchain

aplicada ao rastreamento da carne bovina. Esse trabalho contemplou informações referentes à toda a cadeia de produção da carne bovina. Assim, a utilização do blockchain possibilitou reunir as diversas informações em um único sistema, favorecendo o acesso aos consumidores finais, facilitando a segurança alimentar dos mesmos.

Rambim et al. (2020) aplicaram o blockchain na cadeia produtiva do leite no Quênia. A maior parte da produção de leite deste país advém de pequenos produtores, estes contam com um ponto de coleta e resfriamento do produto coletivo. No trabalho, os autores, com base em blockchain, desenvolveram um sistema de registro da entrega do leite produzido nos pontos de coleta e resfriamento, a fim de garantir transparência, confiabilidade e justiça no pagamento do leite aos produtores, através dos registros auditáveis e imutáveis. E também, evitar a necessidade de terceiros envolvidos no processo, a fim de reduzir a possibilidade de fraudes no processo.

Nos Estado Unidos da América, pesquisadores apresentaram uma aplicação de blockchain para rastrear as etapas de produção de ovos, utilizando também a internet das coisas (IoT) no processo. O objetivo desse trabalho foi realizar a rastreabilidade da cadeia produtiva, para que de forma fácil o consumidor tivesse informações seguras relacionadas aos ovos produzidos. Isso reduziu o risco de recalls, fraudes e danos ao produto e favoreceu a segurança alimentar dos consumidores (Bumblauskas et al., 2020).

Assim, o blockchain se mostra promissor na rastreabilidade de cadeias de produção de alimentos, mesmo perante a grande complexidade dessas cadeias. Os trabalhos já realizados mostram que o blockchain pode abranger cadeias de produção de forma completa e segura e retornar informações consistentes aos as partes interessadas. Por isso, o blockchain vem se transformando em uma ferramenta promissora de rastreabilidade.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado considerando a cadeia produtiva da carne bovina produzida na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) Frigorífico Escola, localizada na Universidade Federal de Viçosa, região da zona da Mata Mineira. Os nove animais abatidos compunham um sistema extensivo de produção, ou seja, predominantemente criados à pasto.

Para o desenvolver o modelo de rastreabilidade baseado em blockchain foi utilizado o ambiente de desenvolvimento *Truffle* (Truffle, 2021). Esse ambiente de desenvolvimento

permite uma melhor interação com o contrato inteligente e um melhor monitoramento do registro de dados. O contrato inteligente foi previamente compilado no ambiente de desenvolvimento *Remix* (Remix Ethereum, 2021), e posteriormente foi armazenado no blockchain, e executado nas transações.

O modelo de rastreabilidade teve seu desenvolvimento de acordo com o esquema apresentado na Figura 3.1. As partes envolvidas na cadeia de produção foram: a fazenda, o frigorífico, a comercialização e os consumidores. Os dados registrados no modelo por cada uma dessas partes também são apresentados na Figura 3.1. Para registro dos dados no blockchain, o usuário de cada uma das partes envolvidas necessitou de um login válido, criado previamente. O consumidor foi a parte que apenas realizou a leitura dos dados. Esse processo se deu no momento da comercialização da carne, via um QR Code fixado na carne embalada (Figura 3.2).

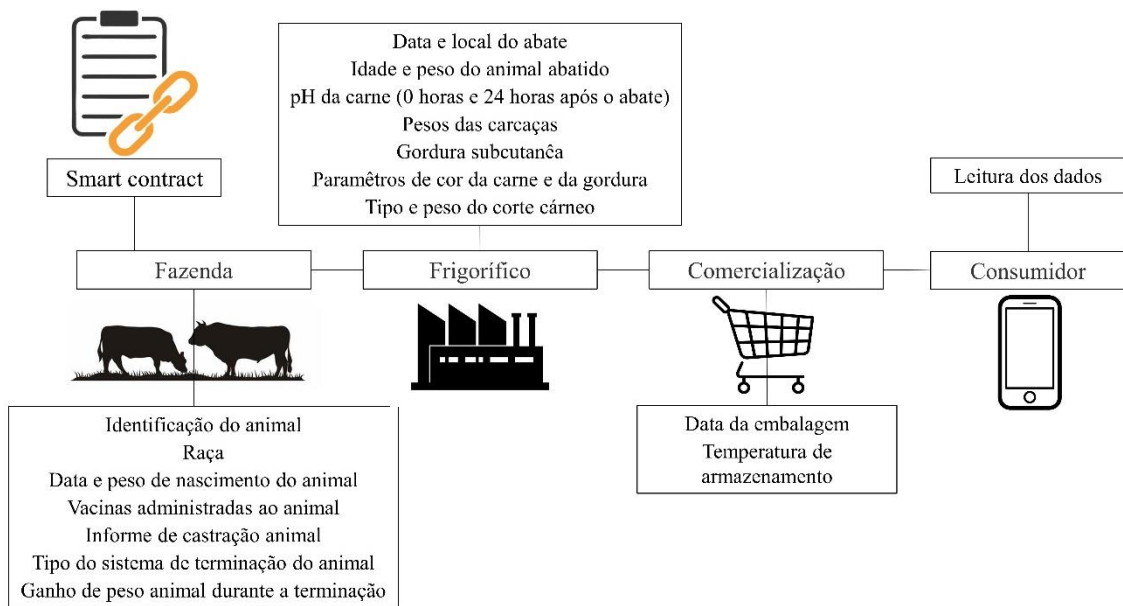


FIGURA 3.1 - Esquema de desenvolvimento do modelo de monitoramento, contendo as partes que integram o contrato inteligente, os dados a ser inseridos por cada uma das partes e a permissão de leitura dos dados pelos consumidores.



FIGURA 3.2 - Corte de carne embalado com QR Code, por meio do qual os consumidores acessam os dados a respeito da rastreabilidade carne bovina.

Após a leitura dos dados, de maneira opcional, os consumidores preencheram um formulário *online*, desenvolvido e acessado via *Google forms*, uma plataforma gratuita de gerenciamento de pesquisas. Com base nesse formulário, extraiu-se os dados para inferir sobre alcance do modelo de rastreabilidade desenvolvido e a importância do mesmo aos consumidores. A importância do modelo desenvolvido foi respondida pelos consumidores numa escala com variação de zero a dez, em que zero equivalia a nada importante e dez a muito importante.

O alcance do modelo foi calculado de acordo com a Equação 3.1, considerando o número de acessos ao modelo via QR Code e o número total de cortes de carne comercializado contendo o QR Code. Já o custo de implantação do modelo de rastreabilidade desenvolvido foi calculado considerando o custo de todas as transações para registrar os dados referentes aos nove animais abatidos. E então, este convertido em dólar considerando a cotação da moeda Ethereum no dia 10 de dezembro de 2022.

$$\text{Alcance} = \left(\frac{A}{C} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Em que:

A - número total de acessos ao modelo;

C - número de cortes de carne comercializado.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O alcance do modelo de rastreabilidade desenvolvido foi de 42,40%. Sendo que, o número de acessos ao modelo foi de 28 acessos, em três dias de comercialização dos cortes de carne. Informações referentes aos animais abatidos e cortes de carne comercializados, estão apresentadas na Tabela 3.1. Observa-se que os nove animais abatidos resultaram em 66 cortes de carne comercializados (filé mignon, contra filé, fraldinha e picanha), perfazendo um total de 162,48 kg de carne bovina rastreada pelo modelo desenvolvido.

TABELA 3.1 - Valor total dos dados referentes aos animais abatidos, cortes de carne e ao modelo de rastreabilidade desenvolvido

	Valor total
Animais abatidos	9
Transações realizadas	115
Acessos ao modelo	28
Cortes de carne rastreados	66
Massa de carne rastreada (kg)	162,48
Período de comercialização (dias)	3
Alcance do modelo (%)	42,40

As respostas fornecidas pelos consumidores ao serem questionados se o modelo de rastreabilidade tem importância para eles, é apresentada na Figura 3.3. Observa-se que não houve respostas abaixo de cinco na escala de importância e que o maior número de respostas está entre nove e dez na escala de importância. Sendo a média dessas respostas de 8,25, valor entre importante e muito importante. Isso mostra que os consumidores julgaram importante a existência do modelo de rastreabilidade desenvolvido na cadeia de produção de carne bovina. Dados apresentados por outros autores, mostraram que os consumidores se importam em conhecer a origem da carne bovina consumida, e que estes consumidores credibilizam o

processo de rastreabilidade (Lin et al., 2022), fato semelhante ao observado no presente trabalho.

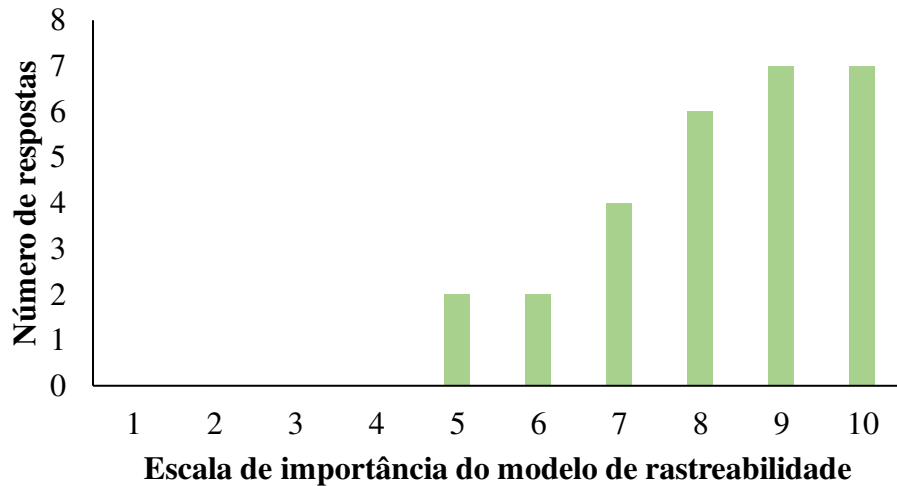


FIGURA 3.3 - Gráfico do número de respostas dos consumidores em função da importância do modelo de rastreabilidade. A escala de importância variou de zero a dez, onde zero equivale a nada importante e dez a muito importante

A Figura 3.4 apresenta o custo de registro de cada uma das transações necessárias para a rastreabilidade da carne bovina. Ao total foram realizadas 115 transações para o armazenamento de todos os dados no blockchain. O valor mais expressivo é a primeira transação, a qual refere-se ao registro do contrato inteligente no blockchain, custando 2,38 dólares, 7,90% do custo de implantação. As demais transações são referentes ao registro dos dados pelas partes envolvidas, e variam de 0,16 a 0,28 centavos de dólares, valores inferiores ao valor do registro do contrato inteligente, esse fato é devido ao volume maior de caracteres que contém o contrato inteligente.

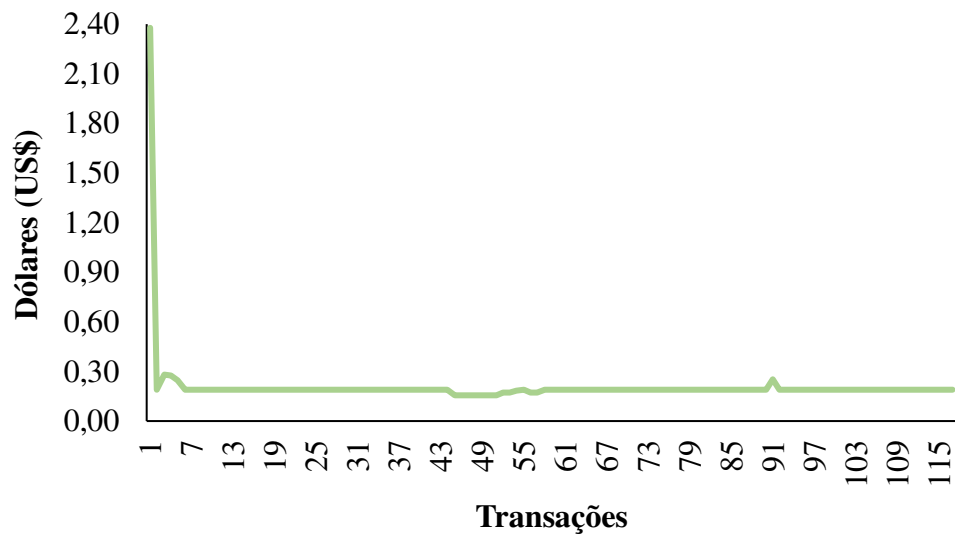


FIGURA 3.4 - Gráfico do custo de implantação do modelo de rastreabilidade desenvolvido em função das transações necessárias para o registro de todos os dados.

O custo de implantação do modelo de rastreabilidade nessa cadeia produtiva, equivalente ao somatório de todas as transações, considerando os nove animais abatidos, foi de 30,48 US\$. Considerando o dado apresentado na Tabela 3.1, total de massa de carne rastreada (em kg), o custo de implantação do modelo de rastreabilidade foi de 0,19 US\$/kg de carne rastreada. Considerando o valor de comercialização de cada corte de carne, o custo do modelo de rastreabilidade representou 0,35% em relação ao valor de comercialização da fraldinha, 0,45% do contra filé, 0,76% do filé mignon e 0,86% da picanha. Sendo assim, o custo do modelo de rastreabilidade representa em média 0,60% do valor comercial dos cortes de carne. Um estudo mostra a existência de consumidores dispostos a pagar pela rastreabilidade da carne bovina, porém, esses consumidores buscam por um modelo de rastreabilidade que envolva todas as informações da cadeia produtiva (Shew et al., 2022). No presente trabalho o modelo de rastreabilidade desenvolvido foi abrangente, envolvendo todas as etapas de produção da carne bovina.

3.5 CONCLUSÕES

. Os consumidores acessaram o modelo e tomaram conhecimento dos dados referentes à vida do animal criado em sistema extensivo e ao armazenamento do produto, e julgaram importante ter um modelo de rastreabilidade pautado em blockchain para a cadeia produtiva da

carne bovina. O alcance do modelo de rastreabilidade foi de 42,40%. O custo de implantação nesta cadeia produtiva, considerando apenas os nove animais abatidos, foi de 0,19 US\$/kg de carne, destes 7,90% foram referentes ao registro do contrato inteligente no blockchain. Esse custo representou em média 0,60% do valor comercial dos cortes de carne.

3.6 REFERÊNCIAS

- Abiec, 2022. Perfil da pecuária no Brasil. <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/>. URL <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/> (accessed 4.6.22).
- Bumblauskas, D., Mann, A., Dugan, B., Rittmer, J., 2020. A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? *Int J Inf Manage* 52, 102008. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2019.09.004>
- Carbone, A., Davcev, D., Mitreski, K., Kocarev, L., Stankovski, V., 2018. Blockchain based Distributed Cloud Fog Platform for IoT Supply Chain Management. Institute of Research Engineers and Doctors, LLC, pp. 51–58. <https://doi.org/10.15224/978-1-63248-144-3-37>
- Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sarriá, D., Menesatti, P., 2013. A Review on Agri-food Supply Chain Traceability by Means of RFID Technology. *Food Bioproc Tech* 6, 353–366. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0958-7>
- Divey, S.J., Hakan Hekimoglu, M., Ravichandran, T., 2019. Blockchains in supply chains: Potential research directions. 2019 IEEE Technology and Engineering Management Conference, TEMSCON 2019. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2019.8813612>
- Felippe, A.D., Demanboro, A.C., 2021. Smart Contracts and Blockchain: An Application Model for Traceability in the Beef Supply Chain, in: *Smart Innovation, Systems and Technologies*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 499–508. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57548-9_47
- Garg, L., Kumar, K., 2021. Application of distributed ledger technology Blockchain in agriculture and allied sector: A review. ~ 215 ~ *The Pharma Innovation Journal* 215–221.
- Hackett, R., 2016. Walmart and IBM Partner to Put Chinese Pork on a Blockchain [WWW Document]. *Fortune*. URL <https://fortune.com/2016/10/19/walmart-ibm-blockchain-china-pork/> (accessed 12.6.22).
- Junejo, A.Z., Hashmani, M.A., Alabdulatif, A.A., 2021. Blockchain-Based Transparent and Traceable Halal Food Supply Chain Management Systems. pp. 462–490. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-6477-6.ch023>
- Júnior, E.M.F. de J., Neto, M.C.M., Freitas, A.E.S., 2020. Garm: A Blockchain based platform for supply chain management / Garm: Uma Plataforma baseada em Blockchain para gerenciamento de cadeia de suprimentos. *Brazilian Journal of Development* 6, 101455–101473. <https://doi.org/10.34117/BJDV6N12-587>
- Kelly, J., 2016. Forty big banks test blockchain-based bond trading system [WWW Document]. *Reuters*. URL <https://www.reuters.com/article/banking-blockchain-bonds/forty-big-banks-test-blockchain-based-bond-trading-system-idUSL8N16A30H> (accessed 12.10.22).
- Lin, W., Ortega, D.L., Ufer, D., Caputo, V., Awokuse, T., 2022. Blockchain-based traceability and demand for U.S. beef in China. *Appl Econ Perspect Policy* 44, 253–272. <https://doi.org/10.1002/aep.13135>

Lopes, M.A., Santos, G. dos, 2007. Custo da implantação da rastreabilidade em bovinocultura utilizando os diferentes métodos de identificação permitidos pelo SISBOV. *Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science* 8, 657–664.

Manski, S., 2017. Building the blockchain world: Technological commonwealth or just more of the same? *Strategic Change* 26, 511–522. <https://doi.org/10.1002/JSC.2151>

Marassi Martins, F., Lopes, M.A., 2003. RASTREABILIDADE BOVINA NO BRASIL.

Monfared, R., 2016. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger, Accepted to the *International Journal of Research in Engineering and Technology-IJRET*.

Nadhirah Hamidi, A., Zahid Junejo, A., Maqbool Memon, M., Ahmed Hashmani, M., 2021. Smart Beef-Quality Tracking in Malaysia using Blockchain Technology. *Journal of Independent Studies and Research Computing* 19.

Nakamoto, S., 2009. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.

Rambim, Dorothy., Awuor, F.Mzee., 2020. Blockchain based milk delivery platform for stallholder dairy farmers in Kenya: enforcing transparency and fair payment. 2020 IST-Africa Conference.

Remix Ethereum, 2021. Remix. URL <https://remix.ethereum.org/#optimize=false&runs=200&evmVersion=null&version=soljson-v0.8.7+commit.e28d00a7.js> (accessed 3.3.21).

Sander, F., Semeijn, J., Mahr, D., 2018. The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal* 120, 2066–2079. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2017-0365>

Shew, A.M., Snell, H.A., Nayga, R.M., Lacity, M.C., 2022. Consumer valuation of blockchain traceability for beef in the United States. *Appl Econ Perspect Policy* 44, 299–323. <https://doi.org/10.1002/aepp.13157>

Tiba, E., Grande, G., Lellis Vieira, S., 2013. Beef traceability by radio frequency identification system in the production process of a slaughterhouse. *JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management* 10, 99–118. <https://doi.org/10.1590/S1807-17752013000100007>

Truffle, 2021. Truffle Suite. URL <https://trufflesuite.com/> (accessed 2.28.21).

4. CONCLUSÕES GERAIS

É emergente a utilização do blockchain na rastreabilidade dos produtos de origem animal. O blockchain atua como um sistema de rastreabilidade, garante qualidade e autenticidade de processos produtivos, e quando aplicado corretamente favorece a segurança alimentar da população e retorna vantagens para o produtor, como agregação de valor ao produto. Aos consumidores o blockchain garante veracidade nos dados rastreados, devido a sua arquitetura de funcionamento, fortalecendo assim a confiança dos consumidores nos produtos e/ou marcas.

Os consumidores reconhecem a importância da rastreabilidade da carne bovina, e alguns se dispõem a pagar o custo adicional para consumir carne bovina de origem conhecida. Os consumidores valorizam o sistema de rastreabilidade aqui desenvolvido, relatando que o sistema desenvolvido possui fácil acesso e informações compreensíveis. Apesar disso, o alcance do sistema aos consumidores foi em torno de 42,40%.

O custo de implantação do sistema de rastreabilidade desenvolvido encontra-se na faixa de valor proposta por outros autores, e também dentro da faixa que os consumidores se propuseram pagar. Este custo, representou em torno de 0,6% do valor de comercialização do corte de carne. Porém, o custo é variável de acordo com o número de animais rastreados. O custo flutuante do registro de dados, e por vezes desconhecido, e a tecnologia envolvida, pode ser ainda o fato que distancia o blockchain de alguns sistemas de rastreabilidade.

Sendo assim, a aplicação do blockchain na agropecuária como ferramenta de rastreabilidade abre oportunidades para pesquisas futuras, afim de torná-lo interoperável com outros sistemas e difundi-lo como ferramenta de rastreio dos produtos de origem animal. E assim, auxiliar a agropecuária na supressão das limitações ainda existentes, e torná-la ainda mais eficiente e produtiva. E além das informações referentes a animais e sistemas de produção, outros dados relevantes como a composição nutricional ou o impacto ambiental associado ao produto têm grande potencial de complementação em sistemas de rastreabilidade de alimentos de origem animal.

No Apêndice I é apresentado o certificado de registro do programa de computador desenvolvido para implementar a tecnologia blockchain na rastreabilidade de carne bovina. Nos Apêndices II e III são apresentados os programas de computador utilizados para fazer o carregamento de dados automático dos sistemas de produção para o blockchain. O endereço do repositório online, em modo público que contém os códigos de desenvolvimento do contrato

inteligente, comunicação das funções do contrato inteligente com a blockchain, e também os códigos de desenvolvimento e otimização da plataforma estão disponíveis no endereço:

https://github.com/JnCM/rastreio_carne_ufr

APÊNDICES

- I. Registro do software “UFVBeefChain” junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). O software foi desenvolvido e utilizado no desenvolvimento do presente estudo.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
 MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
 DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512022002778-0**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 10/12/2021, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: UFVBeefChain

Data de criação: 10/12/2021

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

Autor(es): ANDRE LUIZ DE FREITAS COELHO; DANIEL MARÇAL DE QUEIROZ; HIAGO HENRIQUE ROCHA ZANETONI; ALEX BORGES VIEIRA; JOSE AUGUSTO MIRANDA NACIF; JOSUÉ NUNES CAMPOS; MARIO LUIZ CHIZZOTTI; RONAN DUTRA MENDONÇA

Linguagem: PYTHON; OUTROS

Campo de aplicação: AD-06; AG-01; AG-10; IF-07

Tipo de programa: DS-07; FA-01; GI-01

Algoritmo hash: SHA-512

Resumo digital hash:

f2865963cb41ad3fd10844d3313bde3ae7604b7f450541019ea9905c573f309f251785e9d300ca6ae8db3d15dd657e76d66ffe789de9b85bbd6f4dd889ec981a

Expedido em: 11/10/2022

Aprovado por:

Carlos Alexandre Fernandes Silva
 Chefe da DIPTO

- II. Código desenvolvido para aquisição e inserção automatizada dos dados do índice de conforto térmico (ITU) na blockchain via internet das coisas (IoT). O código foi desenvolvido na plataforma Arduino®.

```

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_SHT31.h"
Adafruit_SHT31 sht31 = Adafruit_SHT31();
float temp = 0.0;
float humi = 0.0;
float itu = 0.0;

const char* ssid = "LANU";
const char* password = "lanu2020";

//Site para receber
String serverName_txt = "http://andrecoelho.xyz/ufvchain/salva_sht.php?itu=";
String serverName_bd = "http://andrecoelho.xyz/ufvchain/send_itu.php?itu=";
String link_send = "";

//Tempo entre medicoes
unsigned long acTime = 0;
unsigned long lastTime = 0;

//ITU minimo e máximo aceitável para conforto termico animal
float itu_min = 50.0;
float itu_max = 74.0;

//LED
int ledPin = D4;
int ledState = LOW;

```

```

void setup() {
  //Inicia serial
  Serial.begin(9600);
  //pisca led
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  //pisca led
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    digitalWrite(ledPin, ledState);
    ledState = !ledState;
    delay(250);
  }
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  while (! sht31.begin(0x44)) { // Set to 0x45 for alternate i2c addr
    Serial.println("SHT31 não encontrado");
  }
  sht31.heater(false);
  Serial.println("SHT31 encontrado");
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  //chama funcao para Iniciar Wifi
  IniciaWifi();
}

void loop() {
  //Pulsacao para verificar funcionamento
  digitalWrite(ledPin, ledState);
  ledState = !ledState;
  delay(5000);
  //
  acTime = millis() / 1000 ;
  //faz uma verificacao a cada 10 minutos
  if ((acTime - lastTime) > 60) {
    IniciaWifi();
    //Se tem conexao
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {

```

```

//Atualiza variavel se tem conexao
lastTime = acTime;
// cria a conexao
WiFiClient client;
HTTPClient http;
//variavel a ser enviada ===faz 10 medições e calcula a media
itu = 0;
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    temp = sht31.readTemperature();
    humi = sht31.readHumidity() - 8.0; //calibracao usando HOBO
    itu = itu + ITU(temp, humi); //funcao de calculo de ITU
    delay(6000); //1 medicao a cada 6s
}
//media do ITU
itu = itu / 10.0;//float
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.println(temp);
Serial.print("Umidade: ");
Serial.println(humi);
Serial.print("ITU: ");
Serial.println(itu);

//se é dado fora da faixa de conforto térmico envia para o Banco de dados
if (itu > itu_max || itu < itu_min) {
    //cria o link com metodo GET
    link_send = serverName_bd + String(itu);
    http.begin(client, link_send.c_str());
    //faz requisicao e imprime HTTPCODE
    Serial.print("HTTP Code BD_MySQL: ");
    Serial.println(http.GET());
}
//Envia para TXT, a cada x minutos
//cria o link com metodo GET

```

```

    link_send = serverName_txt + String(itu) + "&temp=" + String(temp) + "&humi=" +
String(humi);
    http.begin(client, link_send.c_str());
    //faz requisicao e imprime HTTPCODE
    Serial.print("HTTP TXT: ");
    Serial.println(http.GET());
    //finaliza
    http.end();
    WiFi.disconnect(true);
}
// Perdeu a conexão faz nova tentativa
else {
    delay(15000); //espera 15 s
    Serial.println("WiFi desconectado");
    //chama funcao para reiniciar wifi
    IniciaWifi();
}
}
}

void IniciaWifi() {
    WiFi.disconnect(true);
    Serial.print("Conectando em..");
    Serial.println(ssid);
    //inicia WAP, WEP
    WiFi.begin(ssid, password);
    //
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("WiFi conectado");
    Serial.println("IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

```

```
}
```

```
float ITU(float temp, float humi) {
```

```
    return 3.43 + 1.058 * temp - 0.293 * humi + 0.0164 * temp * humi + 35.7;
```

```
}
```

- III. Código desenvolvido para aquisição e inserção automatizada dos dados de temperatura do refrigerador de armazenagem dos cortes cárneos na blockchain via internet das coisas (IoT). O código foi desenvolvido na plataforma Arduino®.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

//sensor temperatura DS18B20
OneWire barramento(D4);
DallasTemperature sensor(&barramento);
float temp = 0.0;

//senha rede WAP/WEP
const char* ssid = "Fri2021";
const char* password = "cavalobranco";

//Site para receber
String serverName_txt = "http://andrecoelho.xyz/ufvchain/salva_ds.php?temp=";
String serverName_bd = "http://andrecoelho.xyz/ufvchain/send_refri.php?temp=";
String link_send = "";

//Tempo entre medicoes
unsigned long acTime = 0;
unsigned long lastTime = 0;

//temperatura otima
float temp_min = -2;
float temp_max = 5;

//LED
#define ledPin D0
int ledState = LOW;
```

```
void setup() {
  //Inicia serial
  Serial.begin(9600);
  //pisca led
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  //pisca led
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    digitalWrite(ledPin, ledState);
    ledState = !ledState;
    delay(250);
  }
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  //inicia sensor DS18B20
  sensor.begin();
  int sensor_number = 0;
  Serial.print(sensor_number);
  while (sensor_number < 1) {
    sensor_number = sensor.getDeviceCount();
    Serial.print(sensor_number);
    Serial.println(" sensores encontrados ");
    delay(1000);
  }
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  // chama funcao para Iniciar Wifi
  IniciaWifi();
}

void loop() {
  //Pulsacao para verificar funcionamento
  digitalWrite(ledPin, ledState);
  ledState = !ledState;
  delay(5000);
  //
  acTime = millis() / 1000 ;
}
```

```

//faz uma verificacao a cada 10 minutos
if ((acTime - lastTime) > 600) {
  //Se tem conexao
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    //Atualiza variavel se tem conexao
    lastTime = acTime;
    // cria a conexao
    WiFiClient client;
    HTTPClient http;
    //variavel a ser enviada ===faz 10 medições e tira a media // demora 1 minuto
    temp = 0.0;
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
      digitalWrite(ledPin, ledState);
      ledState = !ledState;
      sensor.requestTemperatures();
      temp = temp + sensor.getTempCByIndex(0);
      delay(6000); //1 medicao a cada 6s
    }
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    //calcula media
    temp = temp / 10.0;
    Serial.print("Temperatura: ");
    Serial.println(temp);
    //se é dado anormal envia para o Banco de dados
    if (temp < temp_min || temp > temp_max) {
      //cria o link com metodo GET
      link_send = serverName_bd + String(temp);
      http.begin(client, link_send.c_str());
      //faz requisicao e imprime HTTPCODE
      Serial.print("HTTP Code BD_MySQL: ");
      Serial.println(http.GET());
    }
    //Envia para TXT, a cada x minutos
    //cria o link com metodo GET

```

```

link_send = serverName_txt + String(temp);
http.begin(client, link_send.c_str());
//faz requisicao e imprime HTTPCODE
Serial.print("HTTP TXT: ");
Serial.println(http.GET());
//finaliza
http.end();
}
// Perdeu a conexão faz nova tentativa
else {
  delay(15000); //espera 15 s
  Serial.println("WiFi desconectado");
  //chama funcao para reiniciar wifi
  IniciaWifi();
}
}
}

void IniciaWifi() {
  WiFi.disconnect(true);
  Serial.print("Conectando em ");
  Serial.println(ssid);
  //inicia WAP, WEP
  WiFi.begin(ssid, password);
  //
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("WiFi conectado");
  Serial.println("IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

```