



Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Mel com *Blockchain*

Antonio Rafael Braga^{1,2}, Samuel Brandão Maia Lima²,
Francisco Ronald Araújo Barbosa¹, Isac Gabriel A. Bomfim³, Danielo G. Gomes¹

¹Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática
Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - CE

²Redes de Computadores – Campus Quixadá,
Universidade Federal do Ceará (UFC), Quixadá-CE

³Laboratório de Apicultura, Campus Crateús,
Instituto Federal do Ceará (IFCE), Crateús-CE

samuelbrandao08@gmail.com

[f.ronald, rafaelbraga, danielo]@ufc.br, isac.bomfim@ifce.edu.br

Abstract. *In recent years, food fraud has become a recurring issue in Brazil and worldwide, causing significant losses to the food industry. Honey is the third most affected food product by fraud, following milk and olive oil. This has serious consequences, such as annual revenue losses, risks to public health, and the weakening of the food market. In this study, blockchain technology is explored as a solution to improve transparency in the food supply chain and prevent fraud. The research investigates how blockchain can be applied to traceability in honey production, with the potential to add value to the product, reduce recall costs, and ensure greater reliability in the beekeeping industry.*

Resumo. *Nos últimos anos, a fraude alimentar tem sido um problema recorrente no Brasil e em todo o mundo, causando prejuízos à indústria alimentícia. O mel é o terceiro alimento mais afetado por fraude, após leite e azeite. Isso tem consequências graves, como perdas de receitas anuais, riscos à saúde pública e enfraquecimento do mercado alimentício. Neste estudo a tecnologia blockchain é explorada como uma solução para melhorar a transparência na cadeia de suprimentos alimentares e prevenir fraudes. A pesquisa investiga como a blockchain pode ser aplicada na rastreabilidade da produção de mel, com o potencial de agregar valor ao produto, reduzir custos com recalls e garantir maior confiabilidade na indústria apícola.*

1. Introdução

Nos últimos anos, a fraude alimentar tem se tornado um problema recorrente no Brasil e em todo o mundo, causando prejuízos significativos para a indústria de alimentos. A comissão Europeia estima que a fraude custe à indústria alimentícia cerca de 30 mil milhões de euros anualmente [Steinberg and Engert 2019], resultando em uma diminuição da confiança do consumidor e enfraquecimento do mercado.

O mel é o terceiro alimento mais afetado pela fraude, ficando atrás apenas do leite e do azeite [García 2018]. A adulteração do mel tem resultado em colapsos no preço e na produtividade, com impactos graves no mercado e prejuízos de aproximadamente 1 bilhão de dólares [Phipps 2020]. Para que o mel seja considerado autêntico, ele não deve conter qualquer adição ou remoção de substâncias contrárias ao processo natural das abelhas, conforme os padrões do Codex Alimentarius¹.

Os benefícios da rastreabilidade aplicada a indústria de alimentos podem ser percebidos: no impacto na gestão de crises, contribuindo na tomada de decisão eficaz e reduzindo os custos com *recalls*; no impacto no desempenho da empresa, reduzindo custos operacionais e contribuindo para o aumento da competitividade da marca; e, por fim, no impacto nos consumidores, auxiliando a minimizar os riscos à segurança e melhorando a confiança do consumidor no sistema alimentar [Razak et al. 2023].

Nesse contexto, a tecnologia *blockchain*, inicialmente voltada para transações financeiras, pode ser aplicada na indústria de alimentos para proporcionar transparência, visibilidade da cadeia de suprimentos e rastreabilidade da produção, prevenindo fraudes [Bumblauskas et al. 2020]. Essa solução já vem sendo demonstrada em setores como a produção de leite, queijos e na indústria sucoenergética [Mendonça et al. 2020, Morais et al. 2020, Silva et al. 2020].

A rastreabilidade baseada em blockchain apresenta potenciais benefícios na gestão da rastreabilidade. Em Olsen et al. (2019) os autores destacam algumas das vantagens da rastreabilidade baseada em blockchain em relação aos sistemas de rastreabilidade tradicionais. São elas: maior facilidade de auditoria pelas autoridades; um nível mais elevado de confiabilidade e veracidade das informações; imutabilidade da base de dados; e, por fim, melhor interoperabilidade entre diferentes sistemas.

Em Dobbins et al. (2018) os autores descrevem como a tecnologia *blockchain* pode ser empregada para oferecer rastreabilidade da cadeia produtiva do mel, por meio do monitoramento das atividades e condições gerais das colmeias. Além disso, eles apresentam como a *blockchain* pode ajudar na prevenção de fraude, contribuir para melhorar o mercado de polinização e na criação de um mercado de seguro de apiários mais eficiente.

Neste artigo, nosso objetivo foi investigar, a partir da simulação de um sistema conceito, como a tecnologia *blockchain* poderia ser utilizada para garantir a transparência e confiabilidade na cadeia produtiva do mel.

2. Material e Métodos

Neste trabalho, foi seguido um passo-a-passo detalhado para alcançar os objetivos propostos de rastreabilidade da cadeia produtiva do mel utilizando a tecnologia *blockchain*.

¹<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>

A metodologia consistiu em escolher a plataforma *blockchain* adequada, definir os requisitos de rastreabilidade, desenvolver os contratos inteligentes, criar a aplicação web, implementar a rede *blockchain* e, por fim, realizar a análise de desempenho.

A etapa inicial foi a escolha da plataforma *blockchain*. Após um estudo aprofundado das principais opções disponíveis no mercado averiguou-se as plataformas Ethereum e Hyperledger como as principais tecnologias em uso que mais se adequavam com a proposta. Optou-se pela plataforma Ethereum devido à facilidade de documentação, transparência, possibilidade de implementação em rede pública ou privada. A Hyperledger, no entanto, possui uma proposta mais voltada à redes privadas e empresariais.

Em seguida, foram definidos os requisitos de informações necessárias para rastreabilidade da cadeia produtiva do mel. As informações referentes ao mel que serão registradas na produção, processamento, distribuição e comercialização do mel, foram escolhidas com base no trabalho de Donnelly et al. (2008), o qual apresenta uma lista padronizada de dados necessários para rastrear a cadeia do mel, tais como ID da unidade, peso, recipiente, data de fabricação, ID do produtor, ID do transportador e localização. Vale ressaltar que essas informações referentes aos agentes da cadeia produtiva, bem como o processo de produção, processamento, distribuição e comercialização do mel, foram fundamentais para prover a rastreabilidade dos produtos.

Com os requisitos definidos, a etapa seguinte dedicou-se ao desenvolvimento dos contratos inteligentes, escritos em *Solidity*, que foram implementados para atender aos objetivos propostos neste trabalho. Detalhes da implementação foram descritos na sessão de resultados.

A aplicação web desenvolvida é constituída de um *frontend* escrito em *Javascript* e *React*, que se comunica com os contratos inteligentes implantados na rede *blockchain* Ethereum². Essa interação foi viabilizada por meio do provedor de acesso, composto por um nó da rede *blockchain* e a biblioteca "Web3.js". O gerenciador de carteiras Metamask³ foi utilizado para gerenciar as contas dos usuários e estabelecer a conexão com a rede.

Após a implementação da aplicação, a rede *blockchain* foi configurada na *Amazon Web Services* (AWS) para analisar o desempenho da solução. Foram definidos cenários de teste, como a topologia de rede, quantidade de usuários simultâneos e quantidade de nós de consenso, para avaliar o funcionamento da aplicação.

As métricas selecionadas para análise de desempenho incluíram o tempo de processamento do bloco, a taxa de propagação das transações e a taxa de transações por segundo. Utilizando a ferramenta de monitoramento de desempenho *Prometheus*⁴, foram coletadas as métricas da rede *blockchain* para avaliar a eficiência da solução proposta. A ferramenta Grafana⁵ foi utilizada para apresentação dos resultados das métricas selecionadas.

²<https://ethereum.org/pt-br/>

³<https://metamask.io/>

⁴<https://prometheus.io/>

⁵<https://grafana.com/>

3. Resultados e Discussões

Nesta seção, são apresentados os resultados alcançados com o trabalho, incluindo o desenvolvimento da aplicação *web* proposta, a arquitetura do sistema, as principais funcionalidades e o desenvolvimento dos contratos inteligentes utilizados na solução. O código experimental desta pesquisa encontra-se disponível no GitHub ⁶.

3.1. Aplicação Web

A aplicação web desenvolvida teve como objetivo principal permitir que os agentes da cadeia de produção do mel pudessem registrar seus produtos, visualizar sua produção, realizar transações entre os elos da cadeia e rastrear os produtos ao longo de toda a cadeia de produção. A aplicação foi dividida em duas partes: uma destinada aos produtores, processadores, distribuidores e comerciantes de mel, e outra para os consumidores, permitindo que estes pudessem rastrear a origem do mel consumido.

A página de rastreio de produtos apresenta um formulário de consulta, onde os usuários podem buscar informações sobre um determinado produto por meio de seu ID. Uma tabela exibe os dados de rastreio do produto, incluindo informações sobre sua origem e o registro na *blockchain* por meio do *hash* da transação.

O sistema possui páginas de cadastro e login para os usuários. Os produtores têm acesso a recursos para registrar novos produtos, listar produtos, despachar e rastrear produtos (Figura 1). Os processadores têm recursos semelhantes, incluindo a opção de receber carregamentos de produtos. No que concerne aos distribuidores, estes registram o recebimento e o despacho de produtos, enquanto os comerciantes podem registrar o recebimento de produtos, visualizar o estoque e rastrear os produtos enviados por seus fornecedores.

O desenvolvimento dos contratos inteligentes foi uma parte essencial da solução proposta. Eles foram implementados para atender aos requisitos de rastreabilidade da cadeia produtiva do mel. Os contratos inteligentes interagem com a rede *blockchain*, permitindo o registro seguro e imutável das informações dos produtos.

3.2. Desenvolvimento dos Contratos Inteligentes

Os contratos inteligentes utilizados na aplicação foram escritos em *Solidity* na versão 0.8.17 e implementados com a ajuda do *framework Truffle*. Foram desenvolvidos seis contratos, cada um com funcionalidades específicas para diferentes perfis de usuários.

O primeiro contrato, chamado "Authentication", é responsável pelo cadastro de novos usuários no sistema e pela autenticação dos usuários com base em seus papéis no sistema. Ele também fornece permissões para que os usuários possam executar funções que alteram o estado da *blockchain*.

O contrato "Production" é destinado aos produtores de mel e permite que eles cadastrem novos produtos, sejam unidades comerciais ou unidades de logística. Eles também podem listar os produtos cadastrados e registrar os produtos despachados.

O contrato "Processing" é voltado para os processadores de mel, permitindo que eles registrem o recebimento de novos carregamentos, cadastrem novos produtos, listem os produtos cadastrados e registrem os produtos despachados.

⁶<https://github.com/SamuelBrandao08/blockchain-app-tcc.git>

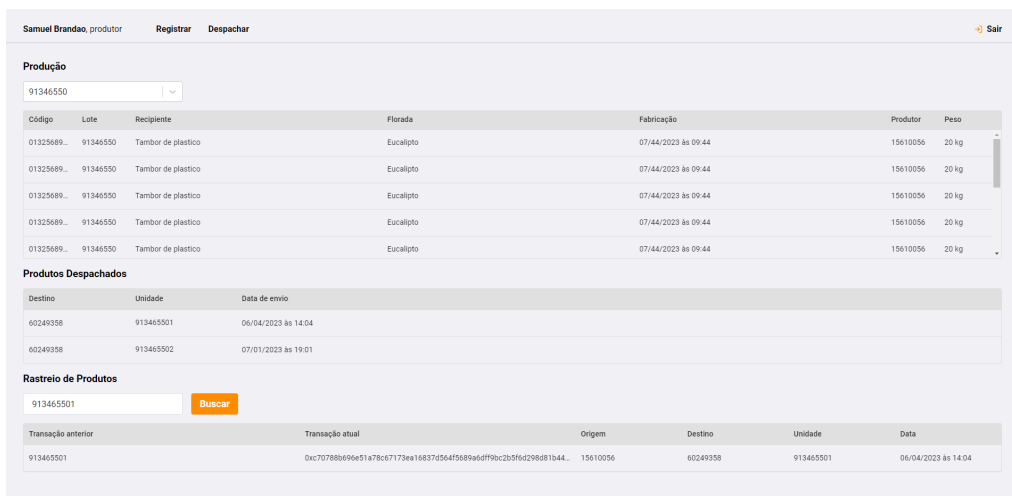


Figura 1. Página principal do produtor

Os contratos "Distribution" e "Merchant" são responsáveis, respectivamente, pelos distribuidores de mel e pelos comerciantes, tanto atacadistas quanto varejistas. Eles podem registrar o recebimento de novos carregamentos, listar os produtos cadastrados e registrar os produtos despachados.

Por fim, o contrato "UpdateTransaction" (Figura 2) implementa as funções para registrar e listar as transações de produtos realizadas entre os usuários ao longo da cadeia produtiva. A função "updateTr()" armazena uma lista de transações associadas a um determinado produto, enquanto a função "search()" possibilita o rastreamento de um produto específico pelo seu ID.

3.3. Análise de Desempenho

Nesta seção, são apresentados os resultados da análise de desempenho da aplicação e da rede *blockchain*, bem como a discussão dos resultados obtidos. O ambiente de teste foi configurado na plataforma de nuvem da AWS, onde os nós da rede foram instanciados usando *Geth*, um cliente *Ethereum*.

Foram realizados três cenários de testes (Figura 3) cada um com cinco usuários com o perfil de Produtor, executando trinta transações referentes à criação de novos produtos. Os cenários diferiam na quantidade de nós de consenso na rede.

Tabela 1. Cenários de teste

Cenários	Usuários	Transações	Nós validadores
Cenário 1	5	30	3
Cenário 2	5	30	4
Cenário 3	5	30	5

No primeiro cenário, com três nós de consenso, os resultados mostraram que o tempo médio de execução e validação dos blocos durante o envio das transações foi de 777 μ s e 47 μ s, respectivamente. A taxa média de propagação das transações válidas foi de 1,20 transações/s, e a taxa de sucesso das chamadas RPC recebidas pelo nó de execução foi de 2,07 req/s.

```

ftrace | funcSig
function updateTr(
    string memory _currentTxI,
    string memory _senderI,
    string memory _receiverI,
    string memory _unitI,
    string memory _dateI
) public onlyOWNER(_senderI) {
    string memory previousTx;
    if (transactions[_unitI].length == 0) {
        previousTx = _unitI;
    } else {
        Transaction memory tr = transactions[_unitI][
            transactions[_unitI].length - 1
        ];
        require(
            keccak256(abi.encodePacked(_receiverI)) ==
            keccak256(abi.encodePacked(tr.receiver)) ||
            keccak256(abi.encodePacked(_senderI)) ==
            keccak256(abi.encodePacked(tr.receiver)),
            "Transacao Inconsistente!"
        );
        previousTx = tr.currentTx;
    }
    transactions[_unitI].push(
        Transaction(
            previousTx,
            _currentTxI,
            _senderI,
            _receiverI,
            _unitI,
            _dateI
        )
    );
    userTransactions[_senderI].push(_unitI);
}

```

Figura 2. Função *register()* do contrato *UpdateTransaction*

No segundo cenário, com quatro nós de consenso, houve uma diminuição no tempo médio de processamento do bloco (execução e validação) em comparação ao primeiro cenário. O tempo de validação do blobo foi 17,1 μ s. A taxa média de propagação das transações válidas foi de 1,31 transações/s, porém a taxa de requisições por segundo aumentou para 6,75 req/s.

No terceiro cenário, com cinco nós de consenso, a taxa de propagação das transações foi de 1,2 transações/s e a taxa de requisições recebidas pelo nó foi de 6,12 req/s e o tempo de processamento dos blocos aumentou um pouco para 17,4 μ s. Os valores podem ser observados na Figura 3. Assim, como pode ser visto, o cenário 2, com 4 nós validadores apresentou-se como a melhor configuração para esse tipo de execução.

O desenvolvimento da aplicação web possibilitou a rastreabilidade da cadeia produtiva do mel usando a tecnologia *blockchain*. A aplicação permite o registro e a visualização da produção, industrialização e distribuição do mel, além do rastreamento de produtos pelos produtores e consumidores. Os contratos inteligentes desenvolvidos permitiram a interação entre a rede *blockchain* e a aplicação web, fornecendo uma estrutura sólida para a execução das operações na cadeia produtiva.

3.4. Custos e barreiras de implementação

É importante considerar os custos e as barreiras de implementação associados a qualquer proposta de rastreabilidade de alimentos. A adoção de tecnologias como *blockchain* pode exigir investimentos iniciais significativos, tanto em infraestrutura quanto em treinamento. Além disso, a colaboração entre os participantes da cadeia de suprimentos pode

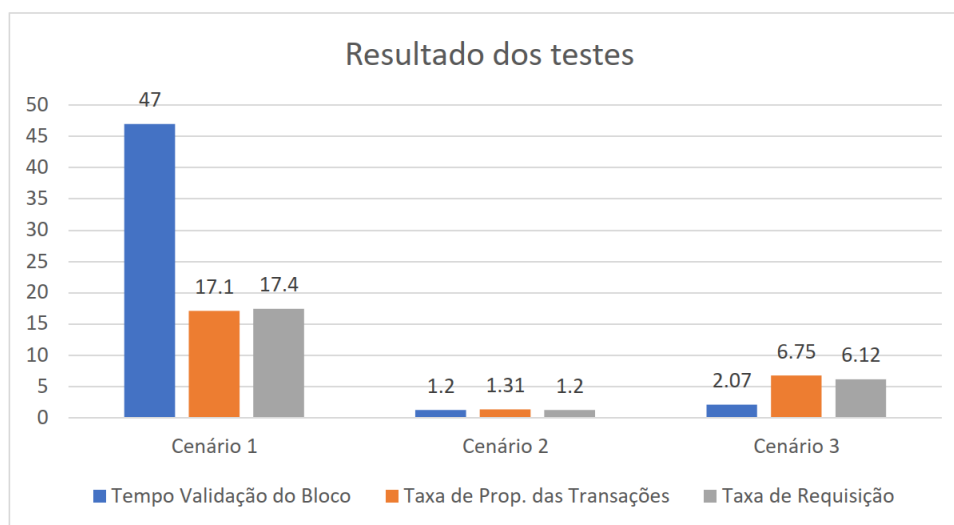


Figura 3. Resultados dos testes

ser desafiadora em termos de compartilhamento de dados e padrões de comunicação.

4. Conclusão

Este artigo apresenta uma aplicação web baseada em *blockchain* para melhorar a rastreabilidade na cadeia produtiva do mel. A tecnologia *blockchain* é uma solução promissora para aumentar a confiabilidade do consumidor e aprimorar a qualidade do mel, graças ao seu registro distribuído e imutável. Os resultados dos testes iniciais indicam a viabilidade da aplicação, embora sejam necessários testes mais abrangentes para avaliar sua escalabilidade com o aumento da participação no consenso e do volume de transações.

A aplicação *blockchain* proposta permite o registro e a visualização eficaz das informações detalhadas sobre a produção, processamento e distribuição do mel, facilitando seu rastreamento para produtores e consumidores.

Embora a aplicação proposta demonstre promissores benefícios em termos de confiança ao consumidor e qualidade do produto, é importante reconhecer algumas limitações e desafios. Um dos principais obstáculos é a escalabilidade do sistema à medida que a participação no consenso e o volume de transações aumentam, algo que requer uma atenção cuidadosa. A sobrecarga do sistema relacionada ao mecanismo de consenso, a duplicação, a distribuição dos dados, a verificação de estado e de erros podem afetar a eficiência e a velocidade da rede em sistemas baseados em *blockchain* [Olsen et al. 2019].

Além disso, a implementação de *QR codes* pode ser uma melhoria significativa, mas também demanda custos adicionais e esforços de integração. A confiabilidade do sistema também está sujeita à integração com monitoramento de colmeias, o que pode ser complexo devido às variações nas condições das colmeias e nos ambientes de produção. Portanto, enquanto a tecnologia *blockchain* oferece oportunidades promissoras, superar esses desafios práticos e garantir a aceitação generalizada entre os participantes da cadeia de produção de mel é um caminho que requer cuidadosa consideração e desenvolvimento contínuo.

5. Agradecimentos

O presente artigo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Danielo G. Gomes agradece o suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos nº 311845/2022-3 e 432585/2016-8. Antonio Rafael Braga agradece o suporte financeiro da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP, processo nº: BP5-00197-00220.02.00/22.

Referências

- Bumblauskas, D., Mann, A., Dugan, B., and 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.
- Dobbins, A., Sprinkle, A., Hadley, B., Cazier, J., and Wilkes, J. (2018). Blocks for bees: Solving bee business problems with blockchain technology. *Bus. Students' Pers. Branding, Empirical Invest.*, 1:11.
- Donnelly, K. A.-M., van der Roest, J., Karlsen, K. M., and Olsen, P. (2008). Traceability of honey—specification of the information to be recorded in honey distribution chains. *Nofima rapportserie*.
- García, N. L. (2018). The current situation on the international honey market. *Bee World*, 95(3):89–94.
- Mendonça, R. D., Gomes, O. S., Pereira, P. C., Vieira, A. B., and Nacif, J. A. (2020). Utilização de blockchain na rastreabilidade da cadeia produtiva do leite. In *Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações*, pages 55–60. SBC.
- Morais, A. M., da Silva de, A. J., and de Oliveira Mendonça, S. F. T. (2020). Qrqueijo: Sistema de emissão e validação de identificadores de queijos utilizando blockchain. *GESTÃO. Org*, 18(2):159–168.
- Olsen, P., Borit, M., and Syed, S. (2019). Applications, limitations, costs, and benefits related to the use of blockchain technology in the food industry. *Nofima rapportserie*.
- Phipps, R. (2020). Investigating food fraud in the honey industry.
- Razak, G. M., Hendry, L. C., and Stevenson, M. (2023). Supply chain traceability: A review of the benefits and its relationship with supply chain resilience. *Production Planning & Control*, 34(11):1114–1134.
- Silva, F., CASTRO, A. d., da SILVA, F., and YANO, I. (2020). Uso de blockchain para registro de dados de cadeia de suprimentos verde da indústria sucoenergética. In *Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 40., 2020, Foz do Iguaçu
- Steinberg, P. and Engert, S. (2019). A daring task: The battle against food crime.