



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA**  
**MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA**

**FRANCISCO RONALD ARAÚJO BARBOSA**

**BEECHAIN: APLICANDO BLOCKCHAIN HYPERLEDGER IROHA PARA  
RASTREAR MEL DE ABELHA**

**FORTALEZA**

**2023**

FRANCISCO RONALD ARAÚJO BARBOSA

BEECHAIN: APLICANDO BLOCKCHAIN HYPERLEDGER IROHA PARA RASTREAR  
MEL DE ABELHA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Teleinformática do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Teleinformática. Área de Concentração: Engenharia Sinais e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes.

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Rafael Braga.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B197b Barbosa, Francisco Ronald Araújo.  
Beechain: Aplicando Blockchain Hyperledger Iroha para Rastrear Mel de Abelha / Francisco Ronald Araújo Barbosa. – 2023.  
84 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes.

Coorientação: Prof. Dr. Antonio Rafael Braga.

1. Blockchain. 2. Sistema de Rastreabilidade. 3. Cadeia Apícola. 4. Apicultura. 5. Produção de mel. I. Título.

CDD 621.38

---

FRANCISCO RONALD ARAÚJO BARBOSA

BEECHAIN: APLICANDO BLOCKCHAIN HYPERLEDGER IROHA PARA RASTREAR  
MEL DE ABELHA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Teleinformática do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Teleinformática. Área de Concentração: Engenharia Sinais e Sistemas.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Antonio Rafael Braga (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Josenalde Barbosa de Oliveira  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
(UFRN)

---

Dr. Charles Fernando dos Santos  
Mais Abelhas Apicultura e Consultoria Ambiental  
Ltda.

À minha família, que sempre me acompanha,  
dedicando amor e compreensão incondicional,  
além de ser o alicerce de todas as minhas con-  
quistas.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer à minha querida esposa, Milena Teixeira Barbosa, pelo carinho e inspiração ao longo dessa caminhada. Sua presença constante foi meu porto seguro e minha maior fonte de motivação.

À minha adorável filha, Mariana Teixeira Araújo Barbosa, se por acaso você estiver lendo minha dissertação, espero que encontre nela a inspiração necessária para trilhar seu próprio caminho na área da tecnologia. Sei que você é capaz de alcançar grandes feitos, e estou ansioso para testemunhar seu crescimento nesse campo.

Aos meus amados pais, Ronaldo e Kátia, e à minha querida irmã, Analice, agradeço pelo apoio incondicional, amor e encorajamento que sempre me proporcionaram. Suas palavras de sabedoria e incentivo foram um farol em minha jornada.

Não poderia deixar de mencionar a importância dos meus orientadores. Ao Professor Dr. Danielo Gonçalves Gomes, agradeço pela sua orientação, suporte e parceria em diversos projetos. Sua experiência e dedicação foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao Professor Dr. Antonio Rafael Braga, meu coorientador, minha gratidão pelas respostas rápidas e por suas valiosas contribuições em todas as vezes que recorri a você em busca de orientação e ajuda. Seus *insights* e conhecimento enriqueceram enormemente minha pesquisa.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos membros externos da banca examinadora, Professor Dr. Josenalde Barbosa de Oliveira e Professor Dr. Charles Fernando dos Santos, pela valiosa contribuição e dedicação ao avaliar este trabalho.

Por fim, agradeço a todos os amigos, colegas e familiares que me apoiaram ao longo desta jornada. Seu incentivo e apoio foram essenciais para o meu sucesso. Esta conquista não teria sido possível sem a presença de cada um de vocês em minha vida.

Muito obrigado a todos por fazerem parte dessa caminhada e por contribuírem para o meu crescimento e desenvolvimento. Estou profundamente grato por todo apoio e amor que recebi ao longo desta jornada.

“A *blockchain* faz uma coisa: substitui confiança de terceiros com prova matemática de que algo aconteceu.”

(Adam Draper, fundador da Boost VC)

## RESUMO

A rastreabilidade de produtos é uma preocupação crescente para os consumidores cada vez mais exigentes no tocante à origem e à qualidade do que estão consumindo. Entretanto, dentre os principais desafios associados às novas exigências do mercado consumidor, pode-se destacar o processo da rastreabilidade e certificação. Muitas vezes os processos tradicionais são caros, burocráticos e sujeitos a fraudes e falsificações. Neste trabalho, apresentamos uma solução mais econômica e menos burocrática, baseada na *Blockchain Hyperledger Iroha*, para rastrear e certificar de modo confiável a cadeia de produção do mel. A solução proposta consiste em um sistema de rastreio, denominado *Beechain*, composto por contratos inteligentes que registram informações importantes sobre o processo produtivo, como a origem do mel, as condições de produção e transporte, entre outros dados relevantes, tais como data e hora da colheita, localização das colmeias, volume do mel e dados logísticos. Evidenciamos neste estudo que a tecnologia *Blockchain* torna o processo de rastreabilidade mais confiável, pois as informações registradas na rede não podem ser adulteradas. Ademais, os resultados obtidos sugerem que a adoção da tecnologia *Blockchain* confere aumento da integração dos elos da cadeia produtiva e da transparência nas transações em todo o processo, o que pode levar à maior confiança do consumidor nos produtos adquiridos.

**Palavras-chave:** *blockchain*; rastreabilidade; cadeia apícola; apicultura; mel



## ABSTRACT

Product traceability is a growing concern for increasingly demanding consumers regarding the origin and quality of what they are consuming. However, among the main challenges associated with new consumer market demands, the traceability and certification process can be highlighted. Often, traditional processes are expensive, bureaucratic, and subject to fraud and counterfeiting. In this work, we present a more economical and less bureaucratic solution, based on Hyperledger Iroha Blockchain, to reliably track and certify the honey production chain. The proposed solution consists of a traceability system, called *Beechain*, composed of smart contracts that record important information about the production process, such as the origin of the honey, production and transportation conditions, among other relevant data, such as date and time of harvest, beehive location, honey volume, and logistics data. We demonstrate in this study that Blockchain technology makes the traceability process more reliable, as the information recorded on the network cannot be tampered with. In addition, the results obtained suggest that the adoption of Blockchain technology increases the integration of the production chain links and transparency in transactions throughout the process, which can lead to greater consumer confidence in the products purchased.

**Keywords:** blockchain; traceability system; beekeeping chain; beekeeping; honey production

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção mundial de mel em 2021 (toneladas) . . . . .	21
Figura 2 – Apicultores examinando melgueiras para determinar o momento ideal da colheita. . . . .	24
Figura 3 – Foto de uma centrifugadora na Casa do Mel localizada na cidade de Quiteriánópolis. . . . .	25
Figura 4 – Cadeia Produtiva do Mel . . . . .	26
Figura 5 – Representação de uma rede <i>blockchain</i> . . . . .	32
Figura 6 – Tipos de redes <i>blockchain</i> . . . . .	34
Figura 7 – Linha temporal dos projetos <i>Hyperledger</i> . . . . .	35
Figura 8 – Disposição dos módulos na <i>blockchain</i> da <i>Hyperledger Iroha</i> . . . . .	37
Figura 9 – Arquitetura da <i>Hyperledger Iroha</i> . . . . .	37
Figura 10 – Exemplo de um sistema de rastreio tendo uma base de dados centralizada .	42
Figura 11 – Exemplo da arquitetura conceito tendo como princípio a tecnologia <i>blockchain</i> . . . . .	42
Figura 12 – Fluxo de desenvolvimento para elaboração e implementação das etapas das funcionalidades do Aplicativo e dos Contratos Inteligentes . . . . .	45
Figura 13 – Casos de uso das ações do atores na rede <i>blockchain</i> . . . . .	46
Figura 14 – Diagrama de classes UML representando as interações no sistema . . . . .	47
Figura 15 – Aplicativo desenvolvido para ser utilizado nas inserções das informações na <i>blockchain</i> . . . . .	52
Figura 16 – Telas do aplicativo desenvolvido para consulta dos consumidores . . . . .	53
Figura 17 – Gráfico de Resultados dos Experimentos de Resiliência na Rede <i>Blockchain</i>	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção brasileira de mel (Em mil toneladas) . . . . .	23
Tabela 2 – Exemplos de Algoritmos de Consenso . . . . .	36
Tabela 3 – Requisitos para a Rastreabilidade . . . . .	44
Tabela 4 – Requisitos para Confidencialidade . . . . .	44
Tabela 5 – Requisitos para Transparência e Integridade . . . . .	44
Tabela 6 – Comparação entre <i>Hyperledger Iroha</i> , <i>Fabric</i> e <i>Sawtooth</i> . . . . .	49
Tabela 7 – Relacionamento do Modelo de Dados para o cenário do rastreio da cadeia produtiva do mel . . . . .	50
Tabela 8 – Retorno da solicitação de registro de um novo ator na rede <i>blockchain</i> . . . . .	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCDE	<i>Agile Blockchain Dapp Engineering</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	<i>Application Programming Interface</i>
CBA	Confederação Brasileira de Apicultura
CSBC	Congresso da Sociedade Brasileira de Computação
dApps	<i>Distributed Applications</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	Internet das Coisas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
QR	<i>Quick Response</i>
REST	<i>Representation State Transfer</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SBIAgro	Congresso Brasileiro de Agroinformática
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
WCAMA	Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais
WEB	<i>World Wide Web</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Motivação e Relevância da Pesquisa</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>Questões de Pesquisa</b>	<b>16</b>
<i>1.3.1</i>	<i>Hipóteses</i>	<i>16</i>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos</b>	<b>18</b>
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>18</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>18</i>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do Documento</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS E TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Apicultura: breve histórico e panorama do mercado</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Mel de Abelha: processo produtivo</b>	<b>23</b>
<b>2.3</b>	<b>Rastreabilidade na Indústria de Alimentos</b>	<b>26</b>
<i>2.3.1</i>	<i>Desafios e Oportunidades na Rastreabilidade</i>	<i>27</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Normalização da Cadeia Apícola: Sistemas de Rastreabilidade</i>	<i>30</i>
<b>2.4</b>	<b>Tecnologia Blockchain</b>	<b>31</b>
<i>2.4.1</i>	<i>Conceito de Blockchain</i>	<i>32</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Rede Permissionada Versus Rede Não Permissionada</i>	<i>33</i>
<i>2.4.3</i>	<i>Projeto Hyperledger</i>	<i>35</i>
<i>2.4.3.1</i>	<i>Hyperledger Iroha</i>	<i>36</i>
<b>2.5</b>	<b>Tecnologia Blockchain: trabalhos relacionados</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>Narrativa Metodológica</b>	<b>40</b>
<i>3.1.1</i>	<i>Coleta de Dados</i>	<i>40</i>
<i>3.1.1.1</i>	<i>Instrumento de Coleta de Dados</i>	<i>41</i>
<b>3.2</b>	<b>Arquitetura Proposta</b>	<b>41</b>
<i>3.2.1</i>	<i>Requisitos Gerais do Sistema</i>	<i>43</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Modelagem com Componentes e Modelo UML</i>	<i>44</i>
<i>3.2.2.1</i>	<i>Definindo o domínio da aplicação</i>	<i>45</i>
<i>3.2.3</i>	<i>Escolhendo a Tecnologia</i>	<i>48</i>

3.2.4	<i>Configuração do Equipamento</i> . . . . .	49
3.2.5	<i>Configuração da Rede</i> . . . . .	49
3.2.5.1	<i>Identidade digital</i> . . . . .	50
3.2.5.2	<i>Rastreamento</i> . . . . .	51
3.2.5.3	<i>Transparência</i> . . . . .	52
3.2.5.4	<i>Certificação</i> . . . . .	53
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>4.1</b>	<b>Simulações</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Configuração Experimental e Testes de Resiliência na Rede Blockchain</i> . .	<b>56</b>
<b>4.1.2</b>	<i>Resultados qualitativos dos testes quanto ao atendimento de requisitos</i> . .	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>Desafios de Implementação</b> . . . . .	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>63</b>
<b>5.1</b>	<b>Considerações finais</b> . . . . .	<b>63</b>
<b>5.2</b>	<b>Produção Científica</b> . . . . .	<b>64</b>
<b>5.3</b>	<b>Trabalhos Futuros</b> . . . . .	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE A –INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS</b> . . . . .	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE B –TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLA- RECIDO (TCLE)</b> . . . . .	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE C –CÓDIGOS-FONTES DOS CONTRATOS INTELIGEN- TES</b> . . . . .	<b>74</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Na Seção 1.1, vamos contextualizar a relevância socioeconômica da indústria apícola, bem como seu papel fundamental na agricultura e na produção de alimentos. Abordaremos, na Seção 1.2, a motivação por trás deste trabalho, os desafios encontrados na cadeia apícola, a relevância desta pesquisa e suas contribuições para o campo. As questões de pesquisa que concitaram a elaboração da solução proposta foram descritas na Seção 1.3. A Subseção 1.3.1 discorre sobre as hipóteses formuladas para cada questão de pesquisa. Apresentamos os objetivos desta dissertação na Seção 1.4. Por fim, na Seção 1.5, oferecemos uma visão geral da estrutura deste documento.

## 1.1 Contextualização

A indústria apícola desempenha um papel de destaque na economia global e na produção de alimentos. Com raízes profundas na história da humanidade, a apicultura, que é a ciência ou arte da criação de abelhas com ferrão (espécie *Apis Mellifera*) para a produção de mel, cera de abelha, própolis, geleia real e outros produtos apícolas (EKE *et al.*, 2021), tem evoluído de uma prática ancestral para uma indústria moderna e essencial.

O mel, em particular, tem conquistado reconhecimento como um superalimento devido às suas propriedades nutricionais e medicinais. É uma rica fonte de antioxidantes, minerais, vitaminas e carboidratos naturais (LIMA, 2020). Como resultado, o mel tem encontrado aplicação em diversas indústrias, desde a culinária até a medicina, a indústria farmacêutica e de cosméticos (SARANRAJ; SIVASAKTHI, 2018). Essa diversificação de usos contribui para a expansão da indústria apícola e seu impacto econômico.

Destaca-se que no Nordeste, que é a segunda maior região em número de estabelecimentos apícolas do Brasil, a apicultura é predominantemente de base familiar (LEITE *et al.*, 2021), representando o trabalho de muitas famílias de pequenos e médios produtores rurais, gerando renda, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e permanência do homem no meio rural. De acordo com (VIDAL, 2023),

Em 2017, de acordo com o Censo Agropecuário, existiam 101.797 estabelecimentos com apicultura no Brasil e 24.150 no Nordeste, 80% desses estabelecimentos tanto no Brasil quanto no Nordeste são da agricultura familiar.

Além de seu impacto econômico, a indústria apícola desempenha um papel crucial na agricultura e na produção de alimentos. As abelhas, como polinizadores, são agentes vitais na

fertilização de uma variedade de culturas, incluindo frutas, vegetais, nozes e grãos (BRAGA, 2020).

Essa relação simbiótica entre as abelhas e as plantas é fundamental para a produção de alimentos. A polinização aumenta a qualidade e a quantidade das colheitas, resultando em um suprimento mais abundante e diversificado de alimentos. Além disso, a polinização por abelhas contribui para a segurança alimentar global, uma vez que ajuda a garantir a disponibilidade de alimentos nutritivos (BRAGA, 2020).

## 1.2 Motivação e Relevância da Pesquisa

A indústria apícola não está isenta de desafios significativos que afetam sua sustentabilidade e o atendimento aos padrões de qualidade e segurança alimentar. Um dos desafios prementes é a garantia da qualidade do mel produzido. A qualidade do mel é afetada por uma variedade de fatores, incluindo a composição botânica do néctar coletado, as práticas de manejo, a higiene no processamento e armazenamento e até mesmo as condições climáticas. Desta forma, as variações na qualidade podem afetar a aceitação do produto pelos consumidores e a sua comercialização em mercados locais (WU *et al.*, 2015).

Destaque-se também a incidência crescente de adulteração do mel no mercado brasileiro. Essa adulteração, muitas vezes realizada para aumentar os volumes de produção ou reduzir os custos, apresenta sérios riscos para a saúde do consumidor devido à presença de substâncias nocivas. Os produtores e fornecedores recorrem a diversas práticas para adulterar o mel, incluindo a adição de xaropes de açúcar, diluição com água, e a inclusão de ingredientes artificiais. Essas práticas comprometem não apenas a autenticidade do mel, mas também seus benefícios nutricionais, prejudicando a integridade do produto (ROSSI *et al.*, 1999).

O mercado internacional vem despertando a atenção dos apicultores brasileiros. O aumento da demanda mundial por alimentos considerados mais saudáveis diante da Pandemia que levou ao crescimento do preço do mel no mercado mundial e à valorização do Dólar frente à moeda nacional são fatores que estimularam as exportações nacionais (VIDAL, 2023). Esse desejo de expandir cada vez mais a produção, estimula alguns produtores a adulterarem seu produto a fim de obter um maior rendimento. Contudo, a adulteração compromete a reputação do mercado brasileiro no exterior, conforme (VIDAL, 2023)

o País está perdendo competitividade devido ao aumento da concorrência na produção e exportação de mel orgânico e **a suspeita, levantada em 2023, de enviar mel adulterado** para a União Europeia [grifo nosso].



Portanto, a segurança alimentar é uma preocupação constante, uma vez que a indústria apícola deve cumprir rigorosos padrões de higiene e rastreabilidade para evitar a adulteração e contaminação de produtos. A necessidade de conformidade com regulamentações sanitárias, de rotulagem e ambientais também representa um desafio para os apicultores e processadores de mel, uma vez que o não cumprimento dessas regulamentações pode resultar em restrições comerciais e riscos para a saúde pública (BRASIL, 2021).

De acordo com (LIMA, 2019), não basta apresentar análises laboratoriais para provar que o produto é de boa qualidade. São cada vez mais necessárias outras garantias, como: estabelecer, descrever e registrar os procedimentos realizados desde a produção até o consumo. O objetivo é assegurar a qualidade do mel que vai do campo à mesa do consumidor. Diante da preocupação com a saúde da população, observa-se que é cada vez maior a busca por alimentos seguros no setor agropecuário, tornando-se clara a necessidade de adequação dos produtores a tal exigência crescente do mercado.

Por essas razões, é importante estabelecer uma cadeia de custódia que certifique que o mel não foi adulterado (RÜNDEL *et al.*, 2021). Ou seja, é fundamental que haja um sistema de rastreio eficiente e transparente na cadeia produtiva do mel.

De acordo com (ESCKSCHMIDT, 2012), a rastreabilidade do mel é fundamental para garantir a qualidade e segurança do produto. Através do acompanhamento de todo o processo produtivo, é possível identificar possíveis contaminações, fraudes ou adulterações que possam comprometer a qualidade do mel. Além disso, a rastreabilidade também ajuda a identificar as melhores práticas e técnicas de produção, permitindo que os produtores possam aprimorar seus processos e garantir a sustentabilidade da atividade apícola.

Diante dos riscos e desafios apresentados, o desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade baseado em *blockchain* na cadeia produtiva do mel representa uma contribuição significativa para o campo da apicultura e da indústria de alimentos como um todo.

Atualmente, as práticas de rastreabilidade no setor apícola ainda são frequentemente baseadas em métodos manuais ou sistemas centralizados que possuem limitações, como falta de transparência, possibilidade de falsificação de dados e complexidade na coordenação da cadeia de suprimentos. Além disso, a crescente demanda por informações sobre a procedência e a qualidade do mel por parte dos consumidores (WU *et al.*, 2015), bem como a conformidade com regulamentações mais rigorosas, destaca a necessidade de soluções mais avançadas e eficazes.

A relevância desta pesquisa é destacada pela lacuna evidente na literatura e na prática

atual, que carece de uma abordagem abrangente de rastreabilidade e certificação que incorpore tecnologias avançadas, como *blockchain*. A pesquisa proposta visou preencher essa lacuna ao explorar a aplicação de *blockchain* na rastreabilidade da cadeia produtiva do mel.

Ao incorporar *blockchain*, a pesquisa buscou desenvolver um sistema de informação que se propõe a permitir não apenas a rastreabilidade precisa, mas também a criação de um registro confiável de cada etapa da produção e distribuição de mel.

Ao fazê-lo, esta pesquisa contribuirá significativamente para a melhoria da gestão da cadeia produtiva do mel. Além disso, espera-se que o sistema proposto promova benefícios para a indústria ao fortalecer sua imagem e competitividade nos mercados nacionais e internacionais. Portanto, a pesquisa representa uma oportunidade para impulsionar a apicultura e a indústria de alimentos como um todo, preenchendo a lacuna na rastreabilidade e demonstrando os benefícios tangíveis da aplicação de tecnologias inovadoras na cadeia produtiva do mel.

### 1.3 Questões de Pesquisa

Diante do exposto, identificamos as seguintes questões de pesquisa como pertinentes:

- **Questão 1:** Como a tecnologia *blockchain* pode ser aplicada para estabelecer um sistema eficaz de rastreabilidade na cadeia de produção de mel, contribuindo para a confiança do consumidor e a autenticidade do produto?
- **Questão 2:** Quais são os desafios práticos e tecnológicos na implementação de um sistema de rastreio de mel baseado em *blockchain*, e como eles podem ser superados?
- **Questão 3:** Quais são os possíveis benefícios econômicos e sociais da implementação de um sistema de rastreio de mel baseado em *blockchain*, e como esses benefícios se comparam com os custos e desafios associados à tecnologia?

#### 1.3.1 Hipóteses

Nesta dissertação, assumimos como principal hipótese que a implementação de um sistema de rastreabilidade baseado em *blockchain* na cadeia produtiva do mel aumentará significativamente a transparência e autenticidade das informações, promovendo a segurança de dados, a capacidade de rastreamento em tempo real e fortalecendo, assim, a confiança dos consumidores nos produtos apícolas. Ademais, foi possível estabelecer uma hipótese específica

para cada Questão de Pesquisa, elencadas a seguir.

- **Hipótese 1 relacionada à questão de pesquisa 1:**

A utilização de um livro-razão imutável na rede *blockchain* permitirá assegurar a autenticidade dos registros em cada etapa da cadeia produtiva do mel, garantindo que as informações registradas permaneçam inalteradas ao longo do tempo.

- **Hipótese 2 relacionada à questão de pesquisa 2:**

A implementação de um sistema de rastreio de mel baseado em *blockchain* envolve desafios práticos e tecnológicos, tais como custos iniciais de implementação, custos computacionais, dificuldades de adoção e resistência à mudanças, a proposição de soluções, como compartilhamento de custos iniciais, parceria entre as partes interessadas, tais como cooperativas e associações, estratégias de financiamento colaborativo e proposição de políticas públicas de fomento à inovação no agronegócio, contribuirá para superar esses obstáculos de maneira eficaz e sustentável. Há também desafios de conformidade aos normativos pertinentes; assim, consultorias especializadas destacam-se como alternativa para a mitigação desse obstáculo.

- **Hipótese 3 relacionada à questão de pesquisa 3:**

A adoção da tecnologia *blockchain* em um sistema de rastreio de mel promoverá benefícios econômicos e sociais substanciais, como a redução de custos operacionais, aumento da eficiência na cadeia produtiva, fortalecimento da confiança do consumidor e promoção de práticas sustentáveis. Estes benefícios, quando comparados aos custos e desafios associados à tecnologia, demonstrarão que os ganhos proporcionados pela implementação superam significativamente os investimentos iniciais e os obstáculos enfrentados, consolidando a tecnologia *blockchain* como uma solução viável e vantajosa para a rastreabilidade na produção de mel.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é a implementação de uma solução baseada em tecnologia *blockchain*, nomeada de *Beechain*, para melhorar a transparência e a rastreabilidade na cadeia produtiva de mel, visando assegurar a integridade e a confiabilidade desse processo.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Com o intuito de aprimorar a transparência e a rastreabilidade na cadeia produtiva de mel e com o propósito de garantir a integridade e a confiabilidade desse processo, buscou-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

1. **Desenvolvimento do Aplicativo Distribuído (*Distributed Applications* (dApps)):** Conceber e implementar um aplicativo distribuído destinado a rastrear a produção de mel desde o apiário até a etapa de distribuição, utilizando a tecnologia *blockchain* como base.
2. **Sistema de Rastreio Eficiente com *Blockchain*:** Implementar um sistema de rastreio seguro, fundamentado em tecnologia *blockchain*, com foco na cadeia produtiva do mel. Isso envolve o desenvolvimento de *smart contracts*, a escolha da plataforma *blockchain* apropriada e a integração com os processos existentes na indústria apícola de maneira simulada.
3. **Transparência e Integridade:** Apresentar os mecanismos e práticas necessários para garantir a transparência, integridade, proveniência e acessibilidade de informações em todas as etapas da cadeia produtiva de mel.

## 1.5 Estrutura do Documento

Esta seção fornece uma visão geral da organização e da estrutura deste trabalho. Cada capítulo e sua respectiva função são descritos para orientar o leitor sobre o conteúdo abordado.

- Capítulo 1 - Introdução: Este capítulo aborda o contexto da pesquisa, apresenta a motivação e as questões de pesquisa norteadoras deste trabalho.
- Capítulo 2 - Fundamentos e Trabalhos Relacionados: Neste capítulo, é apre-

sentada a fundamentação teórica que ancora esta dissertação. Investigamos a trajetória histórica e socioeconômica da apicultura, discutindo tópicos essenciais relacionados à produção e rastreabilidade do mel de abelhas, bem como conceitos fundamentais sobre tecnologia *blockchain*. Além disso, também foram discutidos trabalhos recentes relacionados com o conceito de rastreabilidade na cadeia produtiva de suprimentos, baseada em *blockchain*.

- Capítulo 3 - Materiais e Métodos: Este capítulo descreve a metodologia adotada para desenvolver a proposta de solução de rastreabilidade de mel com *blockchain*, incluindo, a escolha da tecnologia, os requisitos e os componentes do sistema.
- Capítulo 4 - Resultados e Discussões: Apresenta as simulações e resultados da aplicação da tecnologia *blockchain* na rastreabilidade do mel, bem como revela os principais desafios identificados na concepção e implementação do sistema de rastreio desenvolvido, propondo estratégias de superação dessas questões.
- Capítulo 5 - Conclusão: Este capítulo resume as considerações finais da pesquisa, destacando os resultados significativos e as implicações para a indústria apícola. É também apresentada a produção científica decorrente deste estudo. Além disso, discute as possibilidades de trabalhos numa perspectiva futura.
- Referências Bibliográficas: Lista todas as fontes e referências citadas ao longo do trabalho.
- Apêndices: O Apêndice A contém o roteiro de entrevista semi-estruturada, no Apêndice B está o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e no Apêndice C, apresentamos o código dos contratos inteligentes.

## 2 FUNDAMENTOS E TRABALHOS RELACIONADOS

Trazemos neste capítulo o arcabouço teórico, construído a partir da análise crítica e aprofundada das principais teorias relevantes e conceitos fundamentais que alicerçam esta pesquisa.

Para mapear a discussão sobre o objeto de estudo deste trabalho, investigamos a trajetória histórica e socioeconômica da apicultura no Brasil, discutindo tópicos essenciais relacionados à produção do mel de abelhas e explorando os desafios que envolvem sua rastreabilidade.

Além disso, destacamos a importância de estabelecer sistemas eficazes de rastreio na cadeia produtiva do mel, considerando o contexto regional do Nordeste e os impactos sociais, econômicos e tecnológicos associados à atividade apícola.

Detalhamos, ainda, conceitos fundamentais sobre tecnologia *blockchain*. E, por fim, discutimos trabalhos relacionados com a tecnologia *blockchain* na rastreabilidade da cadeia de suprimentos.

### 2.1 Apicultura: breve histórico e panorama do mercado

De acordo com a (RIBEIRO *et al.*, 2019), a apicultura consiste na criação de espécies do gênero *Apis* para a produção de diversos itens apícolas, como mel e própolis. A espécie mais popular é a *Apis mellifera* (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

As espécies do gênero citado também são chamadas de abelhas com ferrão e são diferentes da *Meliponini*, uma tribo de abelhas da família *Apidae*, uma espécie de abelha sem ferrão da América Latina, cuja criação é denominada meliponicultura. É importante distinguir as duas atividades, já que demandam técnicas e geram produtos diferentes. (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Como mencionado na Seção 1.1, a apicultura é uma atividade milenar, sendo uma das mais importantes e antigas do mundo. Segundo (LIMA, 2019), há 4.400 anos os egípcios já criavam abelhas em potes de barro e até hoje as abelhas prestam enorme contribuição à humanidade: seja produzindo mel, pólen, própolis, cera, geleia real e apitoxina (veneno de abelha) ou polinizando as plantações. Estima-se que cerca de 75% das principais culturas agrícolas em todo o mundo dependem, em algum grau, da polinização realizada por abelhas (LIMA, 2020; BRAGA, 2020).

Para ilustrar a importância global dessa indústria, a Figura 1 apresenta a produção mundial de mel, em toneladas, em 2021, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE).

Figura 1 – Produção mundial de mel em 2021 (toneladas)



Fonte: *Food and Agriculture Organization (FAO)*

No cenário nacional, contudo, ao investigar o histórico da apicultura brasileira, observamos que esta já passou por várias fases. De atividade recreativa à indústria moderna e rentável, a história da atividade apícola no Brasil percorreu longa trajetória.

Inicialmente, conforme (CAMARGO *et al.*, 2003), a apicultura foi introduzida no Brasil por imigrantes europeus a partir de 1839. À época, as abelhas melíferas eram exploradas principalmente como *hobby* e para a produção de cera. Assim, a apicultura brasileira era bastante rudimentar, com poucas técnicas de manejo e com colmeias mantidas em quintais, já que as abelhas apresentavam baixa defensividade e não criavam problemas com outras criações de animais.

Até a década de 1950, a produção de mel em colmeias de abelhas melíferas presentes no Brasil era baixa, não ultrapassando 8 mil toneladas por ano e ocupando o 27º lugar na produção mundial, já que essas abelhas não eram adaptadas às condições climáticas tropicais

(CAVALCANTE *et al.*, 2016). Outro grande desafio enfrentado foram doenças como acariose<sup>1</sup> e nosemose<sup>2</sup>, que dizimaram grande quantidade das colmeias (GONÇALVES, 2006)

(RIBEIRO *et al.*, 2019) afirma que, para reverter essa situação, em 1956, um projeto apoiado pelo Ministério da Agricultura trouxe 49 abelhas rainhas da raça africana, a *Apis mellifera scutellata*, com o objetivo de realizar estudos comparando a raça africana com as raças europeias aqui presentes, avaliando a produtividade e resistência para a definição da raça mais adequada às condições brasileiras. Entretanto, por falhas de manejo, as abelhas de 26 colmeias enxamearam, culminando com o cruzamento de rainhas africanas com machos das raças europeias que já estavam no ambiente, resultando na abelha africanizada (WIESE; SALOMÉ, 2020).

Durante esse período de africanização, devido ao caráter mais agressivo dessa nova espécie e à inabilidade dos apicultores em lidar com a nova realidade, ocorreram muitos acidentes (OLIVEIRA, 2011). Por conseguinte, as abelhas africanizadas passaram a ser tratadas como pragas que precisavam ser exterminadas. À época, soluções drásticas, como pulverizações de inseticidas em grandes áreas, chegaram a ser avaliadas (GONÇALVES, 2006).

Diante desse quadro de baixa produção de mel, desconhecimento no manejo e diversos acidentes, muitos apicultores abandonaram a atividade (OLIVEIRA, 2011).

No decorrer dos anos, os apicultores remanescentes passaram a adaptar as técnicas de manejo das raças europeias para as abelhas africanizadas, que embora fossem mais defensivas, eram também muito mais produtivas e resistentes às doenças. De acordo com (CARMO, 2020), por isso o Brasil é o único país a produzir mel orgânico, sem o uso de medicamentos.

A fundação da Confederação Brasileira de Apicultura (CBA), em 1967, constituiu um importante marco temporal e estabeleceu uma tendência de recuperação e expansão da atividade apícola no cenário nacional, promovendo maior intercâmbio de técnicas e experiências, realização de pesquisas, simpósios e congressos reunindo apicultores e pesquisadores, contribuindo decisivamente para o estabelecimento da apicultura como setor importante da produção agropecuária no Brasil.

Em 2009, o Brasil chegou a ocupar o quarto lugar no *ranking* dos maiores exportadores de mel. Nos anos seguintes, em razão da seca em algumas regiões, a produção caiu, e em 2012 o país chegou à décima posição (VIDAL, 2023).

<sup>1</sup> Doença ou infestação traqueal das abelhas por ácaro

<sup>2</sup> Doença ocasionada por fungos microsporídios do gênero *Nosema spp*



Segundo o IBGE, em 2018, o Brasil alcançou um valor de produção de R\$ 502,8 milhões, colocando-se na 11<sup>a</sup> posição entre os maiores produtores de mel.

Em 2021, foram produzidas no Brasil 55,8 mil toneladas de mel, o que representou um crescimento de 6,4% em relação ao ano anterior (VIDAL, 2023). A Tabela 1 fornece uma visão abrangente da produção de mel no Brasil ao longo dos anos.

Tabela 1 – Produção brasileira de mel (Em mil toneladas)

Região/UF	2017	2018	2019	2020	2021
Norte	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1
Nordeste	12,8	14,1	15,6	19,3	20,3
Centro-Oeste	2,0	1,5	1,8	1,9	1,7
Sudeste	9,6	9,2	9,8	9,9	10,5
Sul	16,5	16,5	17,8	20,4	22,2
Brasil	41,7	42,2	46	52,5	55,8

Fonte: IBGE (2023). Adaptado.

É relevante mencionar que a produção de mel é uma atividade que varia de acordo com as condições climáticas, a flora e as práticas apícolas regionais. No Nordeste brasileiro, a apicultura desempenha um papel essencial na geração de renda e no desenvolvimento rural. A região se destaca pela produção de mel, sendo um dos maiores polos apícolas do Brasil. Dados regionais destacam o impacto econômico e social da atividade, bem como sua importância para a diversificação da agricultura. No entanto, de acordo com (VIDAL, 2023),

as chuvas irregulares e em menor volume em muitas regiões produtoras do Nordeste em 2021, contribuíram para a redução da produção no Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia em relação a 2020. [...] Em 2022 e 2023, houve uma boa quadra chuvosa no Nordeste; portanto, estima-se que tenha ocorrido expansão da atividade em termos de número de colmeias povoadas e produtividade.

## 2.2 Mel de Abelha: processo produtivo

De acordo com a Resolução CNNPA n° 12, de 24 de Julho de 1978, tem-se que mel é o produto natural elaborado por abelhas a partir de néctar de flores e/ou exsudatos sacarínicos de plantas (BRASIL, 1978).

A produção de mel começa com a criação de abelhas, em especial a espécie *Apis mellifera*. As colmeias são mantidas em apiários, onde os apicultores monitoram e gerenciam as condições do ambiente e o estado de saúde das abelhas (COSTA, 2016).

Durante a temporada de floração, as abelhas campeiras coletam néctar de flores com suas probóscides e o armazenam em seus papos. No processo, o néctar é enriquecido com

enzimas e ácidos produzidos pelas abelhas, o que inicia o processo de conversão do néctar em mel (GOIS *et al.*, 2013).

De volta à colmeia, ocorre o processo de trofalaxia, ou seja, a regurgitação do mel para as abelhas receptoras visando sua desidratação, por meio da ventilação e da evaporação. Esse processo reduz o teor de água do néctar, tornando-o mais espesso e mais durável (RODRIGUES, 2021).

Posteriormente, o mel é armazenado pelas abelhas em favos de cera. Quando o mel está pronto, os apicultores coletam os favos (Figura 2), utilizando equipamentos especializados, como centrifugadoras (Figura 3) . O mel bruto é, então, filtrado para remover impurezas, como fragmentos de cera e partículas de abelhas. O processo de filtragem pode variar em complexidade, dependendo do tipo de mel desejado (CAMARGO *et al.*, 2003).

Antes de ser embalado, o mel passa ainda pelo processo de decantação, afim de remover sujidades após a filtragem.

Em seguida, o mel é armazenado em recipientes adequados, como potes de vidro ou tambores de aço inoxidável. No envase, o mel deve escorrer pela parede do vasilhame, evitando-se a formação de espuma (GOIS *et al.*, 2013).

Figura 2 – Apicultores examinando melgueiras para determinar o momento ideal da colheita.



Fonte: A imagem é cortesia da empresa Conexão Agro.

Figura 3 – Foto de uma centrifugadora na Casa do Mel localizada na cidade de Quiterianópolis.



Fonte: A imagem é cortesia da empresa Conexão Agro.

Em seguida, é rotulado de acordo com os regulamentos de segurança alimentar e padrões de qualidade. A rotulagem deve incluir informações sobre a origem do mel, a data de produção, a identificação do produtor e as características específicas do produto. E estará pronto para comercialização e consumo (LIMA, 2020).

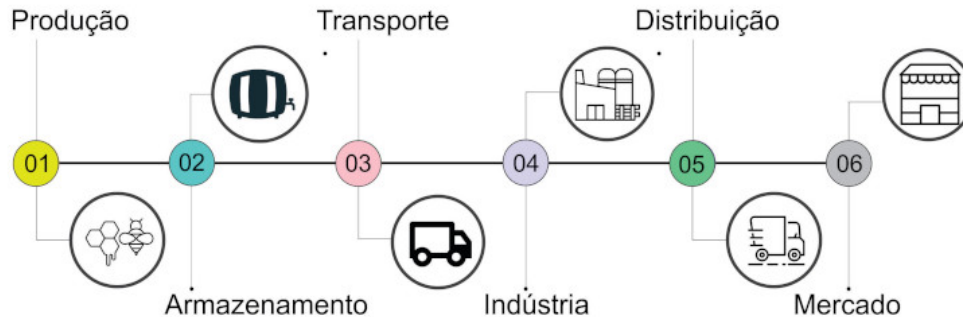
O mel é distribuído para vários mercados, que podem incluir mercados locais, nacionais e internacionais. Os canais de distribuição podem variar desde vendas diretas ao consumidor em feiras e lojas especializadas até vendas em larga escala para redes de supermercados e exportação para outros países.

No tocante à comercialização, pode haver ainda outros intermediários entre o apicultor e o consumidor final, como os entrepostos apícolas, que são estabelecimentos que compram mel de diversas Casas do Mel, e o embala e comercializa com marca própria. Outra derivação de atravessador regional é a figura do corretor de mel, que se trata de indivíduo que é contratado por alguma das indústrias de beneficiamento de mel e que tem como função contatar os apicultores para a compra imediata do produto. Neste caso quem paga pela aquisição do mel é a indústria.

Portanto, a cadeia produtiva do mel pode assumir várias configurações, de maior ou menor complexidade, a depender de fatores como localização do apiário e mercado.

A Figura 4 ilustra uma cadeia produtiva do mel de alta complexidade.

Figura 4 – Cadeia Produtiva do Mel



Fonte: Elaborado pelo autor.

Concluimos que a cadeia produtiva do mel é um sistema complexo e interconectado que envolve uma série de etapas desde a criação e manejo das abelhas até a entrega do produto final aos consumidores. Este processo é caracterizado por diversas atividades que exigem habilidades técnicas e conformidade com regulamentações de segurança alimentar. Logo, cada etapa do processo influencia a qualidade e a quantidade do mel produzido, destacando a relevância da gestão eficaz na apicultura e a adoção de técnicas avançadas de rastreio.

### 2.3 Rastreabilidade na Indústria de Alimentos

Para (VINHOLIS *et al.*, 2002), a crescente preocupação com a segurança do alimento, por parte de consumidores e autoridades públicas, impulsionou a adoção de sistemas de rastreabilidade na indústria de alimentos. Portanto, a rastreabilidade é um conceito central na indústria de alimentos, referindo-se à capacidade de rastrear um produto desde sua origem até o consumidor final. Os autores (VINHOLIS *et al.*, 2002) complementam que

Dentre os vários trabalhos sobre o assunto, a definição de rastreabilidade mais utilizada na literatura consultada é a da *International Organization for Standardization* (ISO): "capacidade de recuperação do histórico, da aplicação ou da localização de uma atividade, ou um processo, ou um produto ou uma organização, por meio de identificações registradas". A rastreabilidade do produto é um dos requisitos contidos dentro de um sistema de qualidade que a empresa deve implementar para obter a certificação ISO.

No contexto da apicultura, para (LIMA, 2019) a rastreabilidade implica em registrar

e documentar todas as etapas do processo de produção, desde o apiário até o mercado, permitindo a identificação precisa da origem do produto, de forma a garantir a qualidade e a autenticidade do mel. Isso significa que cada lote de mel produzido pode ser rastreado até sua origem, possibilitando a identificação de potenciais problemas, como contaminação ou adulteração, e garantindo que os consumidores tenham acesso a um produto de alta qualidade e procedência confiável.

### **2.3.1 Desafios e Oportunidades na Rastreabilidade**

De acordo com (ABNT; SEBRAE, 2012), a rastreabilidade do mel enfrenta vários desafios, que podem comprometer a integridade e a autenticidade do produto. Alguns desses desafios incluem:

- **Fraude e Adulteração:**

A adulteração do mel é um problema significativo na indústria. Adicionar açúcares ou outros produtos falsifica a qualidade e origem do mel, prejudicando a confiança dos consumidores (GOIS *et al.*, 2013). Métodos de rastreio manuais ou baseados em sistemas centralizados são limitados e mais suscetíveis a falsificação de dados.

- **Falta de Transparência:**

A cadeia produtiva do mel muitas vezes carece de transparência. A ausência de informações detalhadas sobre a origem do mel torna difícil para os consumidores rastrear sua procedência. Para (LIMA, 2019), a falta de registro e a negligência com etapas do manejo impactam diretamente no desenvolvimento da colmeia e conseqüentemente na produtividade do apiário.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) explica que a ausência de sistemas de coleta de informações autônomas, ou seja, que a dependência do fator humano para controle e coleta das informações, constitui um desafio de implantação da rastreabilidade no país (BRASIL, 2021).

- **Custos iniciais de implantação:**

Dependendo da aplicação, o custo operacional do sistemas de rastreio pode ser elevado. Fatores como desenvolvimento, treinamento, segurança e manutenção

podem tornar uma solução de rastreabilidade inviável se não forem cuidadosamente mensurados.

- **Conectividade precária no campo:**

A falta de acesso à internet impacta diretamente a rastreabilidade, principalmente para monitoramento em tempo real. Segundo (BRASIL, 2021)

Cerca de 70% das propriedades rurais brasileiras ainda sofrem com a falta de acesso à internet (são quase 3.4 milhões de fazendas sem Internet cuja produção ainda não passou pela transformação digital), o que impacta diretamente o uso de tecnologias da informação e comunicação que corroboram para o aumento da produtividade e eficiência de processos para o setor do Agro.

- **Dificuldades na Integração Digital:**

Muitos apicultores, especialmente aqueles em regiões rurais, enfrentam desafios na integração digital da cadeia produtiva. A falta de sistemas de informação eficazes torna difícil rastrear o mel de maneira confiável. Além disso, há pouca interoperabilidade de sistemas (comunicação entre setores na compra/venda e entre softwares diferentes) (BRASIL, 2021). Nesse sentido, (LIMA, 2019) explica que

a pouca e despadronizada integração e comunicação entre apicultores e associações faz com que a comunidade fique enfraquecida no momento de negociar vendas, principalmente de grandes quantidades de mel. O que leva muitos apicultores a venderem por preços abaixo do mercado a atravessadores que os visitam, compram e transportam o mel para grandes indústrias.

- **Carência de Políticas Públicas:**

Conforme (LIMA, 2019) existem poucas políticas públicas de fomento e capacitação dos atores envolvidos na cadeia apícola, restringindo o acesso ao conhecimento técnico e novas tecnologias. Para (BRASIL, 2021) é necessário e urgente maiores investimentos em políticas públicas para ampliar a conectividade no campo, de forma a garantir acesso a serviços modernos e inovadores e que sejam inseridos no processo de transformação digital do país.

(BRASIL, 2021) descreve outros importantes desafios associados ao processo de rastreabilidade, destacando-se a: baixa compreensão do processo por parte dos produtores rurais e empresas; e escassa mão de obra qualificada em rastreabilidade.

Do mesmo modo, outros trabalhos também elencam fatores que fragilizam a rastreabilidade da cadeia melífera no Nordeste brasileiro, a exemplo de (VIDAL, 2023) que afirma

Persistem, assim, muitas dificuldades no setor apícola nordestino que limitam o pleno desenvolvimento da atividade. O apicultor possui baixo nível de profissionalização; existe dificuldade de acesso a tecnologias e assistência técnica; há carência de casas de mel devidamente equipadas e que atendam às exigências legais; limitada infraestrutura de laboratórios para pesquisa e controle de qualidade dos produtos e grande número de apicultores não dispõe de canais de comercialização adequados.

Para além dos desafios elencados, a rastreabilidade também traz uma série de oportunidades e potencialidades para os produtores, consumidores, cadeias produtivas e para o país (BRASIL, 2021). Dentre elas, citamos:

- **Aceleração do processo de digitalização das empresas:** uma vez que é uma oportunidade para a empresa otimizar seus processos e adotar tecnologias que facilitem a comunicação entre os elos e possam tornar esses processos mais assertivos e confiáveis, com informações em tempo real (diferentemente de muitas certificações que são anuais), criando um ambiente de negócios mais eficiente e automatizado;
- **Maior integração da cadeia produtiva:** com a formação de uma rede de atores que compartilhem informações por meio de uma mesma plataforma; ou contratos inteligentes, que permitam *feedbacks* de informações entre os elos da cadeia até o consumidor final, permitindo maior eficiência operacional e menores riscos de fraude;
- **Melhoria nas ações voltadas à sustentabilidade:** uma vez que é possível identificar a localização e a origem da produção. Além disso, o uso de tecnologias pode colaborar com o monitoramento de indicadores relevantes;
- **Agregação de valor para a cadeia produtiva:** a transparência do processo, a adição de informações e a integração com a cadeia produtiva ajudam os produtores a oferecerem produtos diferenciados e com maior qualidade. Além disso, novos serviços podem surgir, como por exemplo, a comercialização de créditos de carbono, uma vez que a rastreabilidade pode trazer indicadores que viabilizem a operação do novo serviço. Uma outra oportunidade é o potencial de identificação dos pontos de perda na cadeia produtiva para mudanças estratégicas em busca de maior eficiência produtiva;

- **Maior competitividade e exportação de produtos agrícolas:** como se sabe, a grande maioria dos países possui regras rigorosas para a importação de produtos agrícolas. A rastreabilidade na produção favorece a comercialização, uma vez que garante que a propriedade obedeça a todas as normas e exigências do mercado internacional. Um dos benefícios para o produtor ao adotar a rastreabilidade é a conquista de certificações que permitam a entrada de seus produtos em outros países e evitam perdas em razão de embargos comerciais aplicados por diversos motivos. A aplicação de soluções torna os produtos do país mais competitivos com alto valor agregado e seguro para o mercado mundial;
- **Impactos positivos na imagem do país:** com a rastreabilidade e a definição da origem dos produtos e insumos, por exemplo, evidenciam-se os locais de produção e a legalidade das propriedades;
- **Aumento de qualidade dos produtos:** a rastreabilidade ajuda no processo de garantia da sanidade e qualidade dos produtos e na replicabilidade dos modelos de sucesso. O produtor tem a oportunidade de ter mais e melhores informações, analisar e melhorar cada etapa da produção, impactando na qualidade do produto;
- **Aumento de produtividade:** a partir da rastreabilidade, é possível se ter informações detalhadas com dados da produção, processamento e distribuição, permitindo intervir e melhorar a sua gestão, efetividade, tomada de decisão, podendo alcançar melhores índices de produtividade, tornando a atividade mais eficiente e lucrativa. Além disso, em muitas áreas, tendo em vista o grande número de intermediários, pode-se observar também a redução dos custos de transação a partir da adoção de algumas tecnologias.

### ***2.3.2 Normalização da Cadeia Apícola: Sistemas de Rastreabilidade***

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define a normalização como o processo de formulação e aplicação de regras para a solução ou prevenção de problemas, com a cooperação de todos os interessados, e, em particular, para a promoção da economia global. E complementa (ABNT, 2023)

No estabelecimento dessas regras recorre-se à tecnologia como o instrumento para estabelecer, de forma objetiva e neutra, as condições que possibilitem que o produto, projeto, processo, sistema, pessoa, bem ou serviço atendam às finalidades a que se destinam, sem se esquecer dos aspectos de segurança.



Atualmente, a norma *ABNT NBR 15654 de 2009 – Apicultura – Mel – Sistema de rastreabilidade* especifica requisitos básicos para planejamento e implementação de um sistema de rastreabilidade para 3 etapas básicas da cadeia apícola:

- Produção de mel no campo;
- Beneficiamento na unidade de extração; e
- Processamento no entreposto.

Para (LIMA, 2019), o pilar central desta norma é a aplicação de um sistema de rastreabilidade capaz de documentar, por meio de registros passíveis de verificação, o histórico do mel, permitindo localizá-lo na cadeia de alimentos. A tecnologia possibilita a rastreabilidade de toda a cadeia produtiva e possibilita também incluir, de maneira imediata e dinâmica, órgãos reguladores para certificarem esse processo dentro da plataforma (SHINGH *et al.*, 2020).

O objetivo dos sistemas de rastreabilidade é a busca da causa de não conformidades encontradas e dessa forma tornar possível percorrer o caminho feito por aquele produto impróprio e retirá-lo de circulação caso necessário (DROPPA *et al.*, 2011).

Sistemas de rastreabilidade podem melhorar o uso e a confiabilidade apropriados da informação, da eficácia e da produtividade da organização, podendo atingir objetivos do ponto de vista técnico e econômico. O ideal é que tais métodos de rastreamento considerem pelo menos uma etapa anterior e uma etapa posterior a cada organização na cadeia produtiva. Através de acordos entre as organizações envolvidas, o sistema pode aplicar-se a mais de uma parte da cadeia (ABNT; SEBRAE, 2012).

Os princípios que devem ser seguidos nos sistemas de rastreabilidade são:

- Verificáveis;
- Aplicados de forma consistente e comprováveis;
- Orientados para resultados;
- Aplicáveis na prática;
- Seguir a legislação pertinente; e
- Seguir os requisitos definidos para o sistema.

## **2.4 Tecnologia *Blockchain***

Nesta seção, abordaremos a categoria analítica que é alicerce deste estudo, a tecnologia *blockchain*. Para compreender plenamente o funcionamento e os benefícios dessa tecnologia, é essencial explorar os seguintes aspectos: *blockchain permissionada e não-permissionada*,

contratos inteligentes e descentralização.

### 2.4.1 Conceito de Blockchain

A *blockchain* é uma estrutura de dados descentralizada e distribuída que armazena informações de forma imutável, garantindo alta segurança e integridade dos dados (KHAN *et al.*, 2022). Ela consiste em uma cadeia de blocos interligados (Figura 5), cada um contendo registros de transações, e é mantida por uma rede de computadores (nós) que validam e registram novas informações por meio de algoritmos de consenso.

Figura 5 – Representação de uma rede *blockchain*



Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, uma rede *blockchain* é formada por alguns componentes essenciais que desempenham papéis fundamentais em seu funcionamento. Estes componentes incluem:

- **Blocos:** Cada bloco é uma unidade de armazenamento que contém um conjunto de transações. As informações são agrupadas em blocos antes de serem adicionadas à cadeia, e cada bloco possui um identificador único chamado de *hash* que o relaciona ao bloco anterior. Isso cria uma sequência de blocos encadeados, garantindo a integridade da cadeia.
- **Hash:** O *hash* é uma representação alfanumérica única gerada a partir dos dados

contidos em um bloco. Qualquer alteração nos dados resultaria em um *hash* completamente diferente, o que torna fácil detectar mudanças não autorizadas.

- **Rede de Nós:** A *blockchain* é descentralizada e depende de uma rede de computadores (nós) para manter a integridade do sistema. Esses nós são responsáveis por validar transações, alcançar consenso sobre o estado da *blockchain* e adicionar novos blocos à cadeia.
- **Protocolo de Consenso:** Para garantir que todos os nós na rede concordem sobre a validade das transações e a ordem em que são adicionadas à cadeia, a *blockchain* utiliza protocolos de consenso.
- **Carteiras Digitais:** As carteiras digitais permitem que os usuários acessem, gerenciem e realizem transações na *blockchain*. Cada carteira possui um par de chaves, uma pública e uma privada, que são usadas para assinar digitalmente as transações.
- **Contratos Inteligentes:** Algumas *blockchains* suportam contratos inteligentes, que são programas autônomos que executam automaticamente ações quando as condições predefinidas são atendidas.

#### 2.4.2 Rede Permissionada Versus Rede Não Permissionada

No desenvolvimento de uma solução baseada em tecnologia *blockchain*, duas abordagens são amplamente discutidas: redes não permissionadas e redes permissionadas (BRAGA, 2017). Uma rede não permissionada, como o *Bitcoin*<sup>3</sup>, é aquela em que a participação dos nós não é controlada e está aberta a qualquer ator que deseje operar na rede, sem a necessidade de aprovação prévia. Embora ofereçam alto grau de descentralização, elas podem ser menos adequadas para garantir a rastreabilidade na cadeia produtiva de mel, uma vez que qualquer pessoa, incluindo atores mal-intencionados, pode participar e realizar transações. Isso aumenta os desafios de assegurar a confiabilidade e a transparência da cadeia de custódia. Portanto, no contexto da apicultura, redes não permissionadas podem não ser a escolha mais adequada para garantir a autenticidade e a integridade do mel.

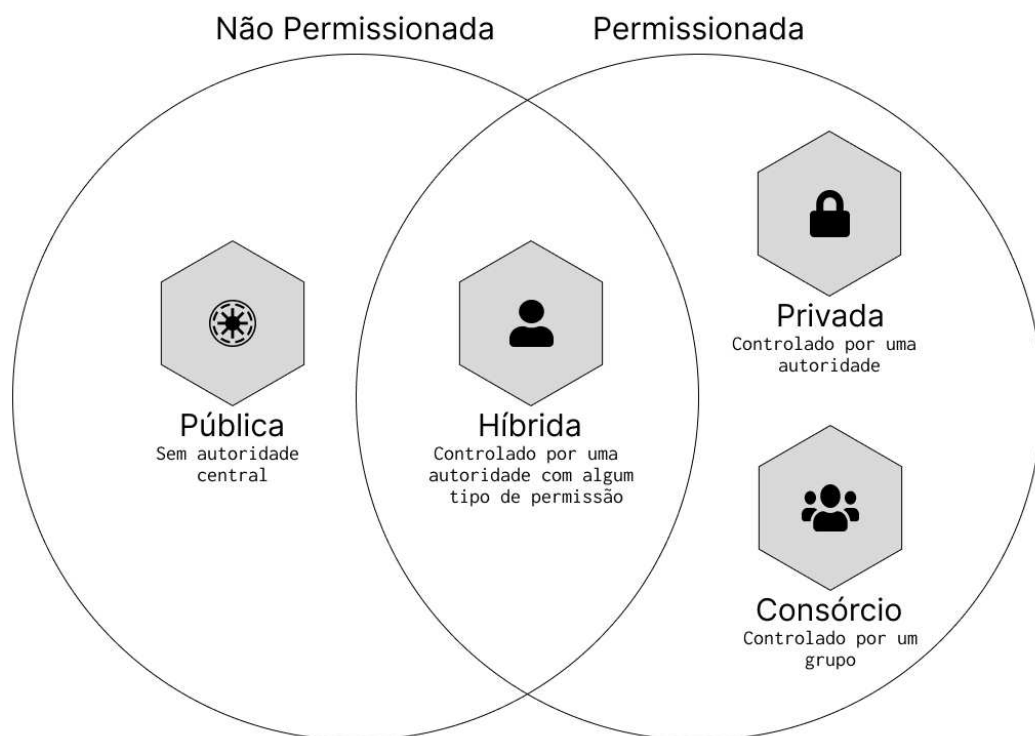
Por outro lado, redes permissionadas permitem a participação de um grupo específico de atores que são autorizados a validar e registrar transações (KIM *et al.*, 2022). Essas redes são frequentemente utilizadas em cenários empresariais e colaborativos, onde a confiança mútua

<sup>3</sup> [https://bitcoin.org/pt\\_BR/](https://bitcoin.org/pt_BR/)

é fundamental. No contexto da apicultura, uma rede permissionada pode ser configurada para incluir todos os atores ao longo da cadeia produtiva do mel, desde os apicultores até os distribuidores. Isso garante maior transparência, confiabilidade e rastreabilidade, pois apenas atores confiáveis têm permissão para participar e validar transações. Essa abordagem pode ser particularmente benéfica para garantir a integridade do processo e prevenir adulterações, uma vez que apenas atores autorizados podem inserir informações na cadeia de blocos.

Uma representação visual dos tipos de redes *blockchain*, incluindo redes públicas, híbridas, privadas e de consórcio, pode ser vista na Figura 6.

Figura 6 – Tipos de redes *blockchain*



Fonte: Elaborado pelo autor

Um exemplo notável de tecnologia de rede permissionada é o projeto *Hyperledger*<sup>4</sup>, detalhado na subseção a seguir.

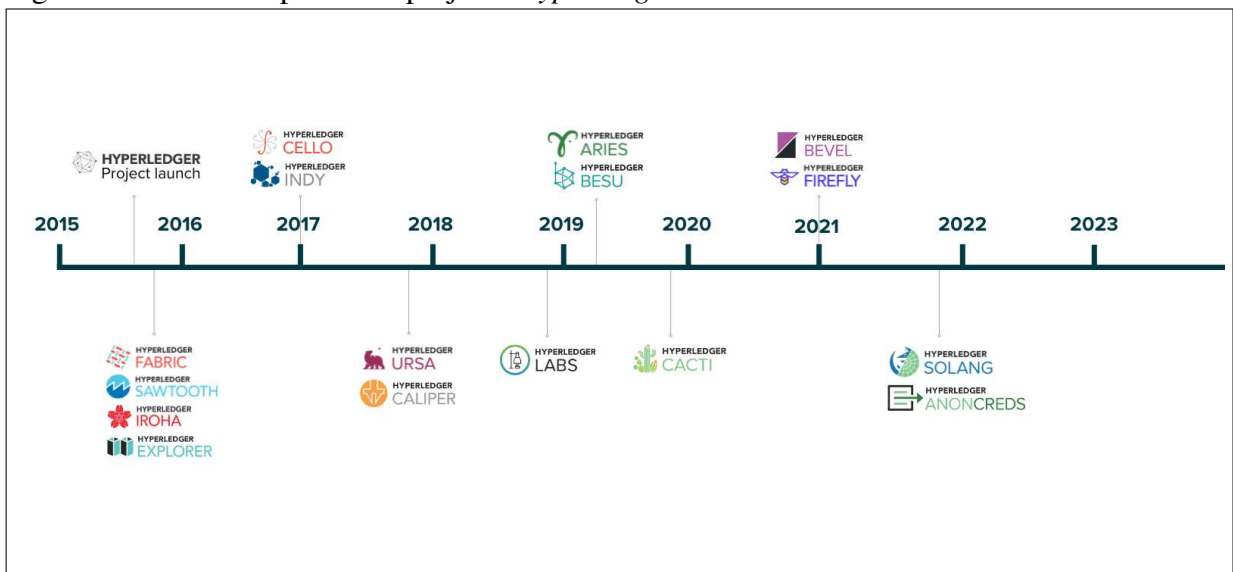
<sup>4</sup> <https://www.hyperledger.org/>

### 2.4.3 Projeto Hyperledger

O *Hyperledger* é uma iniciativa de código aberto, hospedado pela *Linux Foundation*<sup>5</sup>, que visa fornecer um ambiente seguro e confiável para o desenvolvimento de aplicações baseadas em *blockchain*, especialmente voltadas para uso empresarial.

Desde sua concepção em 2015, o projeto *Hyperledger* tem desempenhado um papel crucial na promoção da colaboração entre empresas e desenvolvedores globalmente (HYPERLEDGER, 2015). Sua missão é impulsionar a inovação e facilitar a rápida adoção de tecnologias de *blockchain* nas operações comerciais, catalisando assim avanços significativos no cenário empresarial. A Figura 7 é emblemática, pois representa a evolução temporal desses esforços. Podemos observar a linha do tempo dos projetos concebidos entre 2015 e 2023, evidenciando o impacto contínuo e a relevância duradoura do *Hyperledger* na transformação digital e no avanço tecnológico.

Figura 7 – Linha temporal dos projetos *Hyperledger*



Fonte: *Hyperledger Foundation* - <https://www.hyperledger.org/about>

Dentre os diversos *frameworks* e ferramentas fornecidos pelo *Hyperledger*, destaca-se o *Hyperledger Iroha*<sup>6</sup>, uma plataforma específica para desenvolvimento de aplicações em *blockchain*, baseada em permissão com consenso de tolerância a falhas, que será detalhada na subseção a seguir.

<sup>5</sup> <https://www.linuxfoundation.org/>

<sup>6</sup> <https://iroha.tech/>

### 2.4.3.1 Hyperledger Iroha

A *Hyperledger Iroha* é uma plataforma *blockchain* desenvolvida pela *Soramitsu*<sup>7</sup> e faz parte do projeto *Hyperledger*. Possui um algoritmo de consenso tolerante a falhas bizantinas chamado *Sumeragi* e incorpora um protocolo de encadeamento de detecção de erros (DUAN *et al.*, 2014) – a Tabela 2 exemplifica alguns dos principais algoritmos de consenso utilizados nas *blockchains*. Com isso, é capaz de garantir segurança e vivacidade para o processamento de transações entre pares (MURATOV *et al.*, 2018) em sistemas descentralizados.

Tabela 2 – Exemplos de Algoritmos de Consenso

Algoritmo	Características	Projetos que utilizam
Prova de Trabalho (PoW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer que os participantes resolvam problemas computacionais complexos para validar as transações.</li> <li>- Garante segurança por meio de dificuldade na geração de blocos.</li> </ul>	- Bitcoin: A primeira e mais conhecida criptomoeda utiliza o PoW.
Prova de Participação (PoS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os validadores são escolhidos com base em sua participação na criptomoeda.</li> <li>- Reduz o consumo de energia em comparação com o PoW.</li> </ul>	- Cardano: Uma plataforma de contrato inteligente que utiliza PoS para segurança e validação.
Prova de Autoridade (PoA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os validadores são autoridades predefinidas com base na confiança.</li> <li>- Adequado para redes privadas e consórcios.</li> </ul>	- Quorum: Uma plataforma de <i>blockchain</i> empresarial baseada no Ethereum que usa PoA.

Fonte: Elaborado pelo autor.

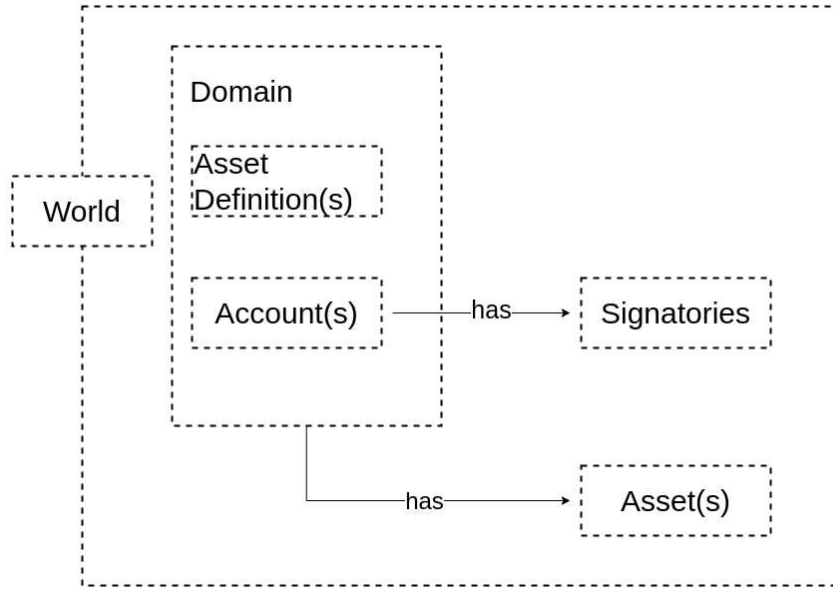
Desenvolvida com o propósito de proporcionar simplicidade e facilidade de uso, esta plataforma apresenta uma arquitetura modular (Figura 9) que permite a personalização para atender às necessidades particulares dos usuários.

Como ilustrado na Figura 8, o Modelo de Dados é composto por elementos essenciais como *World*, *Domains*, *Accounts*, *Assets* e *Signatories*.

Ademais, *Iroha* oferece uma variedade de mecanismos de segurança, incluindo suporte para assinatura digital e criptografia de chave pública, para garantir a privacidade e a segurança das transações.

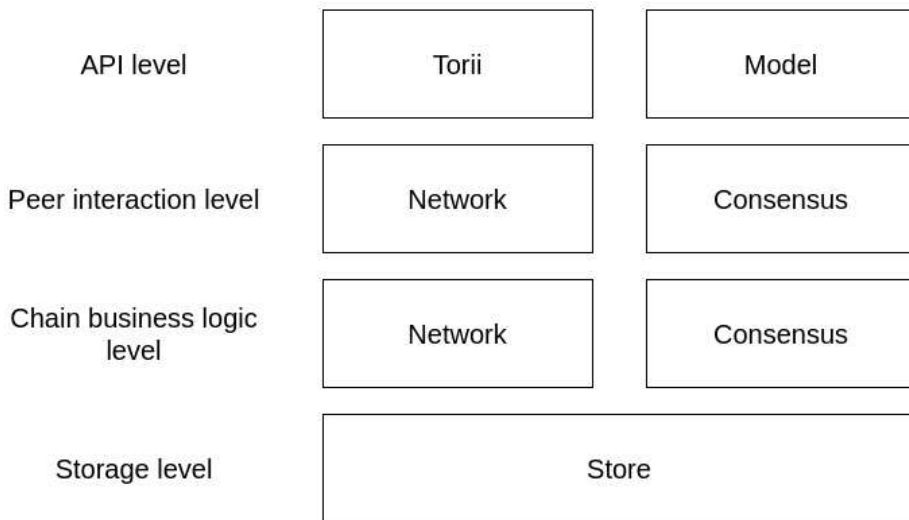
<sup>7</sup> <https://soramitsu.co.jp>

Figura 8 – Disposição dos módulos na *blockchain* da *Hyperledger Iroha*



Fonte: *Hyperledger Iroha* - <https://hyperledger.github.io/iroha-2-docs>. Adaptado.

Figura 9 – Arquitetura da *Hyperledger Iroha*



Fonte: *Hyperledger Iroha* - <https://hyperledger.github.io/iroha-2-docs>. Adaptado.

## 2.5 Tecnologia *Blockchain*: trabalhos relacionados

A *blockchain* está sendo utilizada na cadeia de suprimentos para armazenar e compartilhar dados que podem ser verificados na confirmação de sua autenticidade. Segundo (KSHETRI, 2018), a *blockchain* pode fornecer transparência por meio da imutabilidade das transações, o que aumenta a confiança das partes interessadas e gera a rastreabilidade.

Objetivando mapear o campo da rastreabilidade da cadeia produtiva do mel, buscou-se na literatura recente possíveis pesquisas relacionados com a temática, especialmente com a aplicação da tecnologia *blockchain*.

Contudo, não foram encontrados, nos repositórios acadêmicos consultados, nenhum estudo recente que aborde especificamente a rastreabilidade do processo de produção do mel baseada na tecnologia *Hyperledger Iroha*. Assim, extensivamente, foram estudados alguns trabalhos relacionados com outras áreas correlatas, que utilizaram a tecnologia *blockchain* no contexto de rastreabilidade da cadeia de suprimentos, que estão listados a seguir.

No trabalho de (MENDONÇA *et al.*, 2020) foi utilizada uma arquitetura baseada em *blockchain* para oferecer a interligação e transmissão de dados entre sistemas com tipos de comunicação variados para rastreabilidade da cadeia produtiva do leite. A solução apresentada pelos autores utilizou a tecnologia *Ethereum*<sup>8</sup> para armazenar os dados coletados dos produtos e *hashes* criptográficos para validação desses dados. Os autores criaram uma arquitetura modular e utilizaram a *blockchain* como elo entre os diversos módulos do sistema, o que tornou simples a adição de novos componentes sem impacto no serviço.

A pesquisa de (FIGORILLI *et al.*, 2018) implementou uma estrutura baseada em *blockchain* para o rastreamento da cadeia de suprimentos de madeira. A simulação do sistema de rastreamento envolveu a obtenção de dados da cadeia de suprimentos, empregando sensores de Identificação por Radiofrequência RFID (*Radio Frequency Identification*). A infraestrutura para desenvolver a aplicação *blockchain* foi construída utilizando o *Workbench Azure Blockchain*<sup>9</sup>. Conforme indicado pelos pesquisadores, a aplicação da tecnologia *blockchain* para rastreabilidade de produtos de madeira é economicamente viável e oferece confiabilidade, transparência e segurança, mitigando riscos relacionados a fraudes.

Em (BUMBLAUSKAS *et al.*, 2020), os autores descrevem a implementação de um sistema de rastreamento para monitorar a produção e entrega de ovos por uma empresa dos Estados Unidos da América (EUA). O propósito deste estudo é avaliar a precisão e transparência da aplicação da tecnologia *blockchain* na rastreabilidade da cadeia de suprimentos, visando fornecer informações detalhadas aos consumidores sobre os alimentos que consomem. A implementação empregou sensores IoT (Internet das Coisas) e integra a *blockchain Hyperledger Sawtooth v1.0*<sup>10</sup> e uma aplicação WEB. Essa abordagem visa estabelecer uma estrutura de coleta

---

<sup>8</sup> <https://ethereum.org>

<sup>9</sup> <https://azure.microsoft.com>

<sup>10</sup> <https://sawtooth.hyperledger.org/>



de dados e análises, focando especialmente no impacto dessa implementação.

(XU *et al.*, 2019) por sua vez, desenvolveram uma aplicação denominada *originChain* com o objetivo de oferecer rastreabilidade baseada em *blockchain*. Os pesquisadores optaram por utilizar uma *blockchain* pública e privada baseada em *Ethereum*. A avaliação quantitativa da aplicação foi conduzida através da análise da latência de leitura e escrita na *blockchain*, considerando um banco de dados local e outro remoto. A discussão dos resultados enfatiza as limitações relacionadas ao desempenho e à privacidade, destacando que as *blockchain* privadas possuem melhores desempenhos em relação às públicas.

Percebemos, nos trabalhos relacionados, que a utilização das soluções baseadas na tecnologia *blockchain* são viáveis e podem conferir transparência e integridade no cenário de rastreabilidade das cadeias produtivas de diversos segmentos da indústria de suprimentos.

Nesta dissertação, desenvolvemos um sistema de rastreamento baseado em *blockchain* *Hyperledger Iroha*, utilizando contratos inteligentes, que são as soluções bases para esse tipo de aplicação, que registram informações importantes sobre o processo produtivo, como a origem do mel, as condições de produção e transporte, entre outros dados relevantes, tais como data e hora da colheita, localização das colmeias, volume do mel e dados logísticos.

Assim, embora todos os trabalhos listados sejam baseados em *blockchain*, notamos que esta pesquisa difere-se das demais, especialmente no que tange à escolha do *framework*. Considerando os propósitos desta dissertação, os comandos integrados da *Iroha* mostraram-se mais interessantes, em comparação com outras estruturas *Hyperledger* ou de outras *blockchains* permissionadas, haja vista que a tecnologia *Iroha* permite aos usuários a execução de funções comuns, como criar e transferir ativos digitais, usando comandos pré-construídos que estão no sistema. Isso elimina a necessidade de escrever contratos inteligentes complicados e difíceis de testar, favorecendo a conclusão de tarefas simples com mais rapidez. Além disso, o sistema robusto de permissões da *Iroha* possibilita a definição de permissões para todos os comandos, consultas e ingressos na rede. Por fim, destacamos ainda que esta plataforma reduz o vetor de ataque, melhorando a segurança geral do sistema, pois há menos risco de falha.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo, apresentamos os procedimentos metodológicos que norteiam esta dissertação, com a finalidade de atender às questões e aos objetivos deste trabalho. A Seção 3.1 descreve a natureza da perspectiva deste estudo, bem como detalha o itinerário metodológico da pesquisa. Descrevemos a arquitetura proposta na Seção 3.2, comparando com sistema de rastreio tradicional, elencamos os requisitos gerais da aplicação e detalhamos diversos aspectos de configuração do sistema desenvolvido.

#### 3.1 Narrativa Metodológica

Este trabalho está pautado numa perspectiva qualitativa, cujo objeto de estudo reside na concepção e implementação de um sistema conceito capaz de realizar o rastreio das principais etapas do ciclo de produção do mel, que são: colheita, processamento, armazenamento, embalagem e distribuição; bem como promover a integração digital entre os atores desta cadeia produtiva, quais sejam: apicultores, transportadores, processadores, varejistas e consumidores.

Para isso, inicialmente investigamos o contexto socioeconômico da apicultura no Brasil. Pesquisamos, também, sobre a tecnologia *blockchain* e suas aplicações na cadeia de suprimentos, especialmente no que diz respeito à rastreabilidade de produtos alimentícios.

A partir das informações coletadas, levantamos os requisitos gerais e, então, desenvolvemos um modelo de implementação da tecnologia *blockchain* na cadeia produtiva do mel, intitulado *Beechain*, que incluiu a coleta de dados e registros de todas as etapas do processo de produção.

Em seguida, simulamos como essa tecnologia poderia ser usada para garantir a transparência e confiabilidade do processo, permitindo acesso a informações detalhadas sobre a origem e qualidade do mel a todos os atores envolvidos na cadeia de produção.

Finalmente, avaliamos os resultados, quanto à eficiência e ao atendimento aos requisitos iniciais da solução proposta, bem como apontamos os desafios da implementação desta tecnologia na prática e propusemos recomendações para sua utilização eficiente.

##### 3.1.1 Coleta de Dados

Na coleta de dados e informações foram utilizadas técnicas de pesquisa bibliográfica (em fontes como livros, artigos, dissertações e teses, acerca dos conceitos e categorias analíticas

centrais desse estudo), documental (foram coletadas informações nos documentos oficiais e institucionais de caráter público) e de campo (em que se fez uso de entrevista semi-estruturada e registros fotográficos).

### 3.1.1.1 *Instrumento de Coleta de Dados*

Com o objetivo de obter informações relevantes do fluxo produtivo, incluindo desafios enfrentados em termos de insumos, equipamentos e uso de tecnologias, foi realizada entrevista semi-estruturada com um corretor de mel, um dos atores-chave da cadeia produtiva em tela, que teve duração de 60 minutos.

O diálogo estabelecido nessa entrevista foi gravado e também registrado em um caderno de campo, com o consentimento do participante da pesquisa.

Foram seguidos os princípios definidos pela Resolução N° 196/96, que define os padrões éticos para investigações que envolvem seres humanos, principalmente quanto à beneficência, autonomia, relevância social da pesquisa e assinatura do TCLE (BRASIL, 1996)

O roteiro de entrevista aplicado nesta pesquisa e o TCLE encontram-se listados nos apêndices desta dissertação.

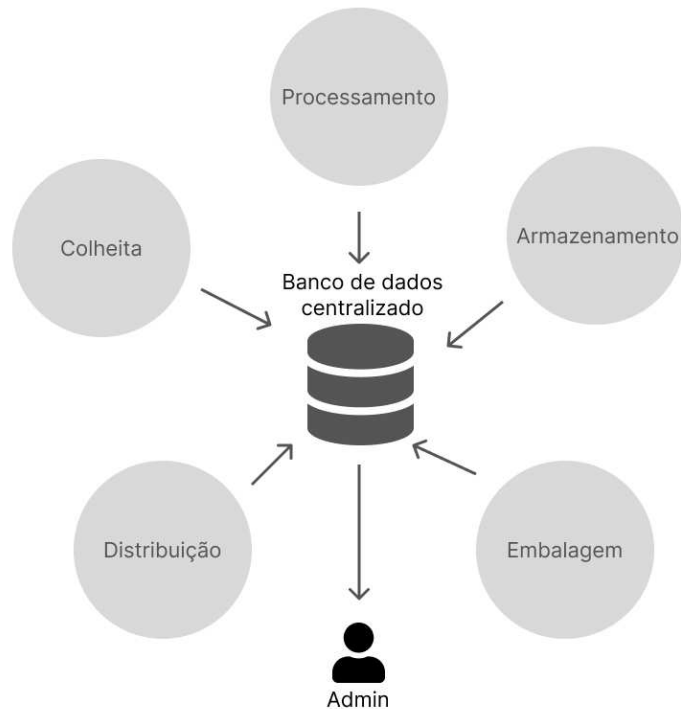
## 3.2 **Arquitetura Proposta**

Em um sistema de rastreamento tradicional, um banco de dados central contendo dados sobre todos os processos deve ser criado (EHSAN *et al.*, 2022). Nessa abordagem, há algumas desvantagens. A principal delas é que esse tipo de arquitetura é vulnerável a problemas de segurança.

Uma das preocupações mais relevantes, ao adotar essa configuração, é a possibilidade de um administrador mal-intencionado alterar os dados armazenados no banco de dados central. Isso pode levar a problemas como a falsificação de dados, a manipulação de informações e a criação de registros fictícios, o que poderia comprometer a confiabilidade e a integridade do sistema de rastreamento (KHAN *et al.*, 2022).

Outra desvantagem, que pode ser visto na Figura 10, é a dependência de um único ponto de falha, no caso, o servidor centralizado. Se esse servidor falhar, o sistema inteiro ficará inoperante, o que pode levar a interrupções no processo de rastreamento e causar problemas de continuidade de negócios.

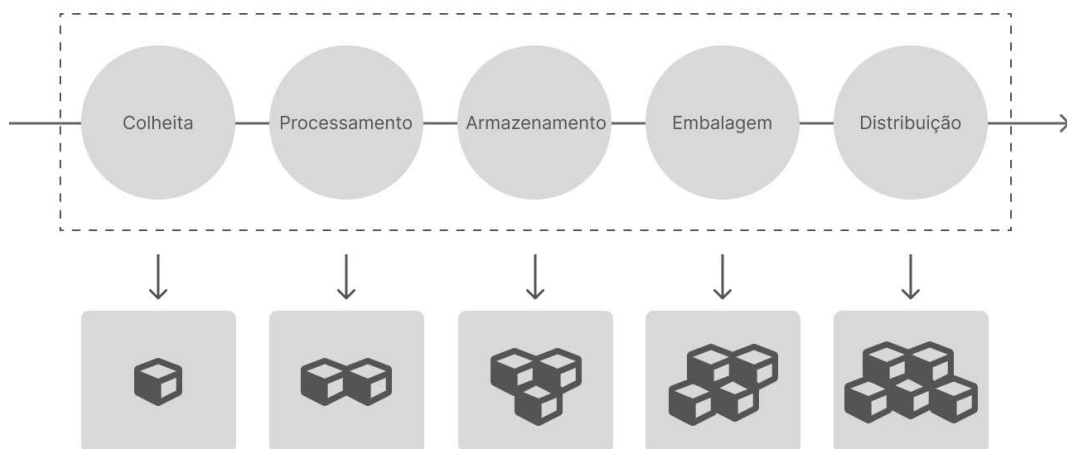
Figura 10 – Exemplo de um sistema de rastreio tendo uma base de dados centralizada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pensando nisso, buscamos neste trabalho encontrar uma solução alternativa para contornar as desvantagens identificadas nos sistemas de rastreio tradicionais, cuja proposta esta exemplificada na Figura 11 que representa a estrutura da arquitetura de rastreabilidade, mostrando a conexão entre as várias etapas necessárias para aumentar a qualidade no processo da cadeia produtiva do mel.

Figura 11 – Exemplo da arquitetura conceito tendo como princípio a tecnologia *blockchain*



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.1 *Requisitos Gerais do Sistema*

Nesta seção, apresentaremos os requisitos gerais do sistema desenvolvido para rastrear a produção de mel por meio da tecnologia *blockchain*. Esses requisitos desempenharam um papel fundamental na concepção e implementação do aplicativo distribuído e do sistema de rastreio eficiente, visando atender a preocupações cruciais de rastreabilidade, segurança e transparência e integridade em toda a cadeia produtiva do mel.

Como mencionado na Seção 2.3, a rastreabilidade é uma questão central para garantir a origem e a qualidade do mel de abelhas. Compreende a capacidade de rastrear a produção desde o apiário até a etapa final de embalagem e distribuição, permitindo que informações detalhadas sobre cada etapa do processo sejam registradas. Essa rastreabilidade é essencial para identificar e rastrear cada lote de mel, proporcionando uma visão completa de sua origem e histórico. Além disso, é imperativo que o sistema garanta a autenticidade das informações registradas, evitando qualquer possibilidade de alterações não autorizadas ou adulterações nos dados de rastreio, conforme apresentado na Tabela 3.

Em paralelo, a segurança dos dados é um requisito crítico para proteger as informações dos apicultores, dos processos de produção e dos consumidores. É essencial garantir a confidencialidade dessas informações, além de implementar mecanismos de autenticação e autorização para assegurar que apenas partes autorizadas possam acessar e inserir novos registros no sistema. Além disso, o sistema deve ser projetado com resiliência contra ataques cibernéticos, incluindo tentativas de modificação de dados ou negação de serviço, como descrito na Tabela 4.

Por fim, a transparência e integridade desempenham um papel vital na construção da confiabilidade da cadeia produtiva do mel. O sistema deve proporcionar total transparência ao longo dessa cadeia, permitindo que todas as partes interessadas acessem informações relevantes. Com isso, deve ser possível verificar a integridade dos registros em todas as etapas, assegurando que nenhuma informação tenha sido adulterada ou perdida. Além disso, o sistema deve oferecer mecanismos de auditoria que permitam às autoridades reguladoras e às partes interessadas verificar a conformidade com os padrões de qualidade e segurança alimentar, conforme ilustrado na Tabela 5.

Esses requisitos representam as bases essenciais para a implementação bem-sucedida de um sistema de rastreabilidade do mel por meio da tecnologia *blockchain*, abordando aspectos cruciais de rastreabilidade, confidencialidade, transparência e integridade ao longo da cadeia produtiva.

Tabela 3 – Requisitos para a Rastreabilidade

Identificação	Descrição
R1	O sistema deve ser capaz de rastrear a produção de mel desde o apiário até a etapa final de embalagem e distribuição.
R2	Deve permitir o registro de informações detalhadas sobre cada etapa do processo de produção, incluindo data, local, quantidade de mel produzido e informações sobre as colmeias envolvidas.
R3	Deve ser possível identificar e rastrear cada lote de mel ao longo da cadeia produtiva, proporcionando uma visão completa da origem e do histórico de cada produto.
R4	O sistema deve garantir a autenticidade das informações registradas, evitando alterações não autorizadas ou adulterações nos dados de rastreio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Requisitos para Confidencialidade

Identificação	Descrição
R5	A segurança dos dados é fundamental, e o sistema deve garantir a confidencialidade das informações dos apicultores, dos processos de produção e dos consumidores.
R6	Devem ser implementados mecanismos de autenticação e autorização para garantir que apenas partes autorizadas possam acessar e inserir novos registros do sistema.
R7	O sistema deve ser resistente a ataques cibernéticos, incluindo tentativas de modificação de dados ou negação de serviço.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Requisitos para Transparência e Integridade

Identificação	Descrição
R8	O sistema deve proporcionar total transparência ao longo da cadeia produtiva, permitindo que todas as partes interessadas acessem informações relevantes, desde apicultores até consumidores.
R9	Deve ser possível verificar a integridade dos registros em todas as etapas, assegurando que nenhuma informação tenha sido adulterada ou perdida.
R10	O sistema deve oferecer mecanismos de auditoria que permitam às autoridades reguladoras e às partes interessadas verificar a conformidade com os padrões de qualidade e segurança alimentar.

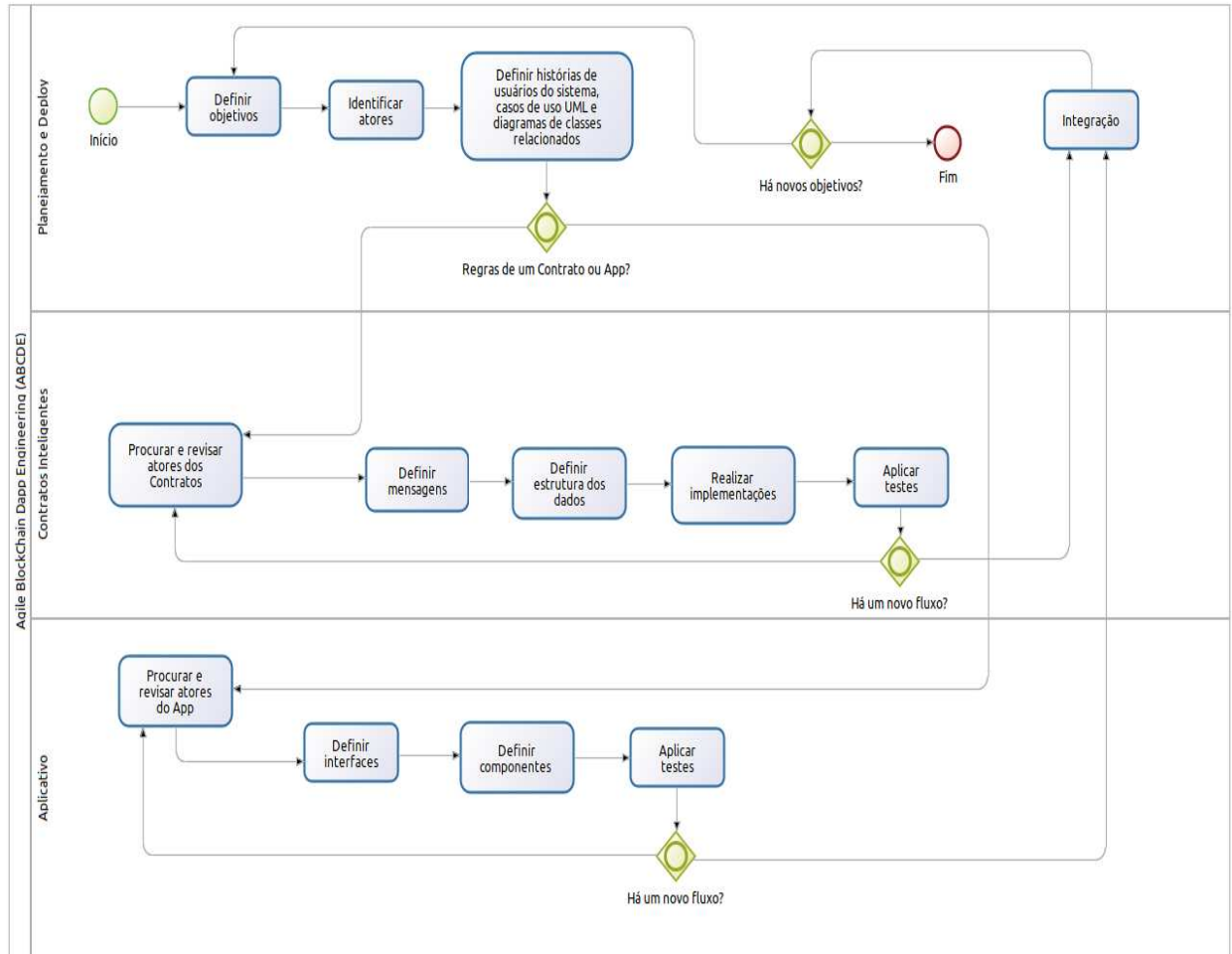
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.2 Modelagem com Componentes e Modelo UML

A criação de uma solução tecnológica eficiente para rastrear a produção de mel na cadeia apícola requer uma modelagem sólida e a utilização de ferramentas apropriadas para garantir o sucesso do projeto. Ou seja, para criar um sistema de software confiável e sustentável, é fundamental seguir um processo de desenvolvimento definido e aplicar práticas consistentes de Engenharia de Software (MARCHESI *et al.*, 2020). A Figura 12 exemplifica o fluxo de desenvolvimento e integração dessas etapas. Toda a nossa abordagem foi realizada aproveitando o método *Agile Blockchain Dapp Engineering (ABCDE)* (MARCHESI *et al.*, 2020) para projetar e implementar o dApps, o que desempenhou um papel significativo na

concepção e desenvolvimento deste sistema. De maneira resumida, o método ABCDE tem como objetivo mapear as características da aplicação, identificar os atores envolvidos, definir histórias de usuários e determinar se isso está relacionado à elaboração de contratos inteligentes ou se é um traço inerente ao desenvolvimento do aplicativo.

Figura 12 – Fluxo de desenvolvimento para elaboração e implementação das etapas das funcionalidades do Aplicativo e dos Contratos Inteligentes



Fonte: *Agile BlockChain Dapp Engineering (ABCDE)*. Adaptado.

Na subseção seguinte, discutiremos a modelagem do sistema com a utilização de componentes e a representação gráfica por meio de um Modelo UML (*Unified Modeling Language*).

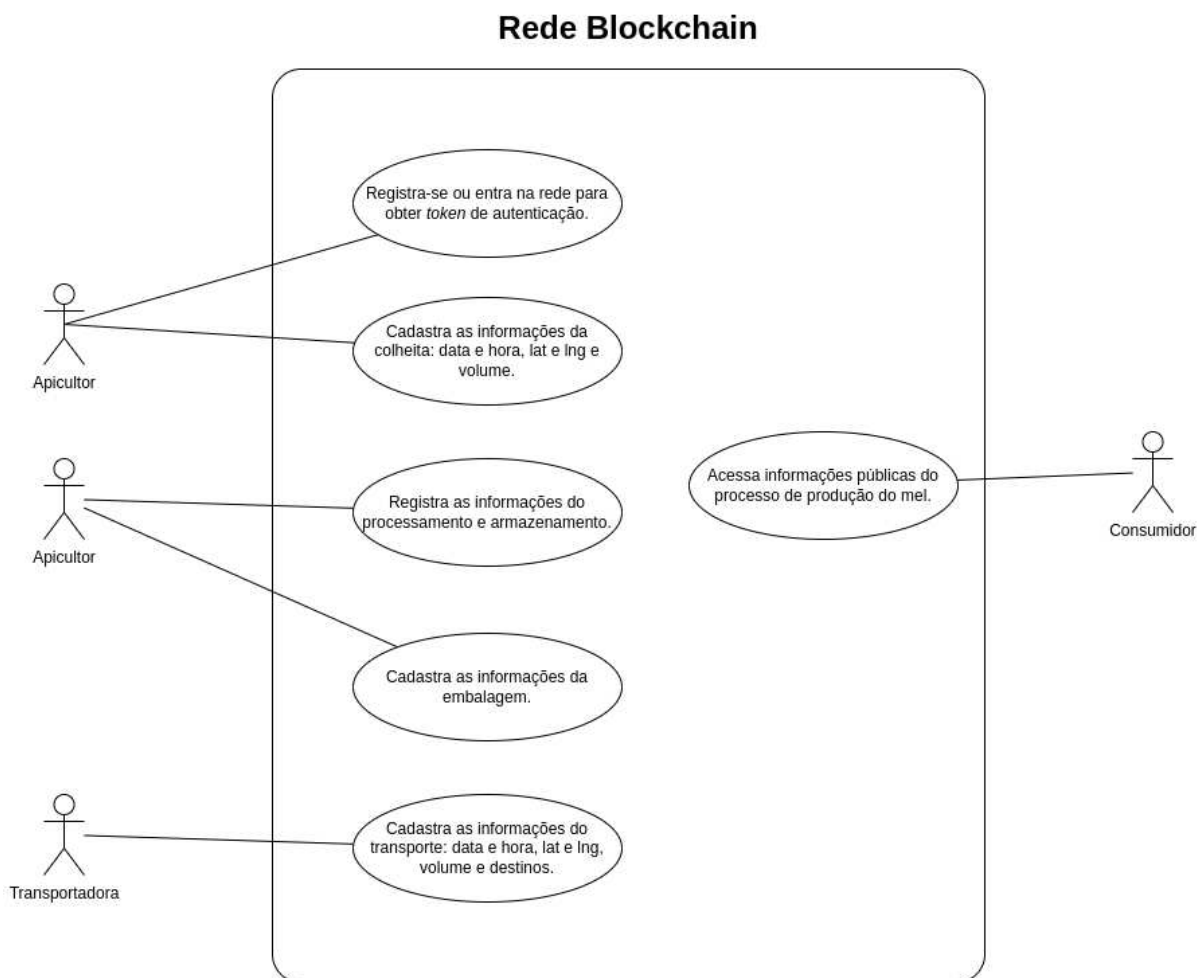
### 3.2.2.1 Definindo o domínio da aplicação

Antes de procedermos à implementação do código, empreendemos uma análise aprofundada do domínio do problema, que consiste na compreensão abrangente de todas as

informações que definem a problemática abordada pelo projeto. Essa etapa se revelou de suma importância, uma vez que nos permitiu mapear minuciosamente as etapas-chave que permeiam a complexa cadeia produtiva do mel, bem como identificar e descrever os diversos atores que desempenham papéis cruciais ao longo desse processo.

A Figura 13 ilustra os casos de uso dos atores envolvidos na cadeia produtiva do mel, evidenciando as interações e fluxos de informação entre os produtores, distribuidores e consumidores. Essa representação gráfica dos casos de uso proporciona uma visão das operações realizadas em cada etapa, contribuindo para a compreensão abrangente do funcionamento da cadeia produtiva do mel e, conseqüentemente, para a implementação bem-sucedida da tecnologia *blockchain* visando aprimorar a rastreabilidade e garantir a integridade do processo.

Figura 13 – Casos de uso das ações do atores na rede *blockchain*



Fonte: Elaborado pelo autor.

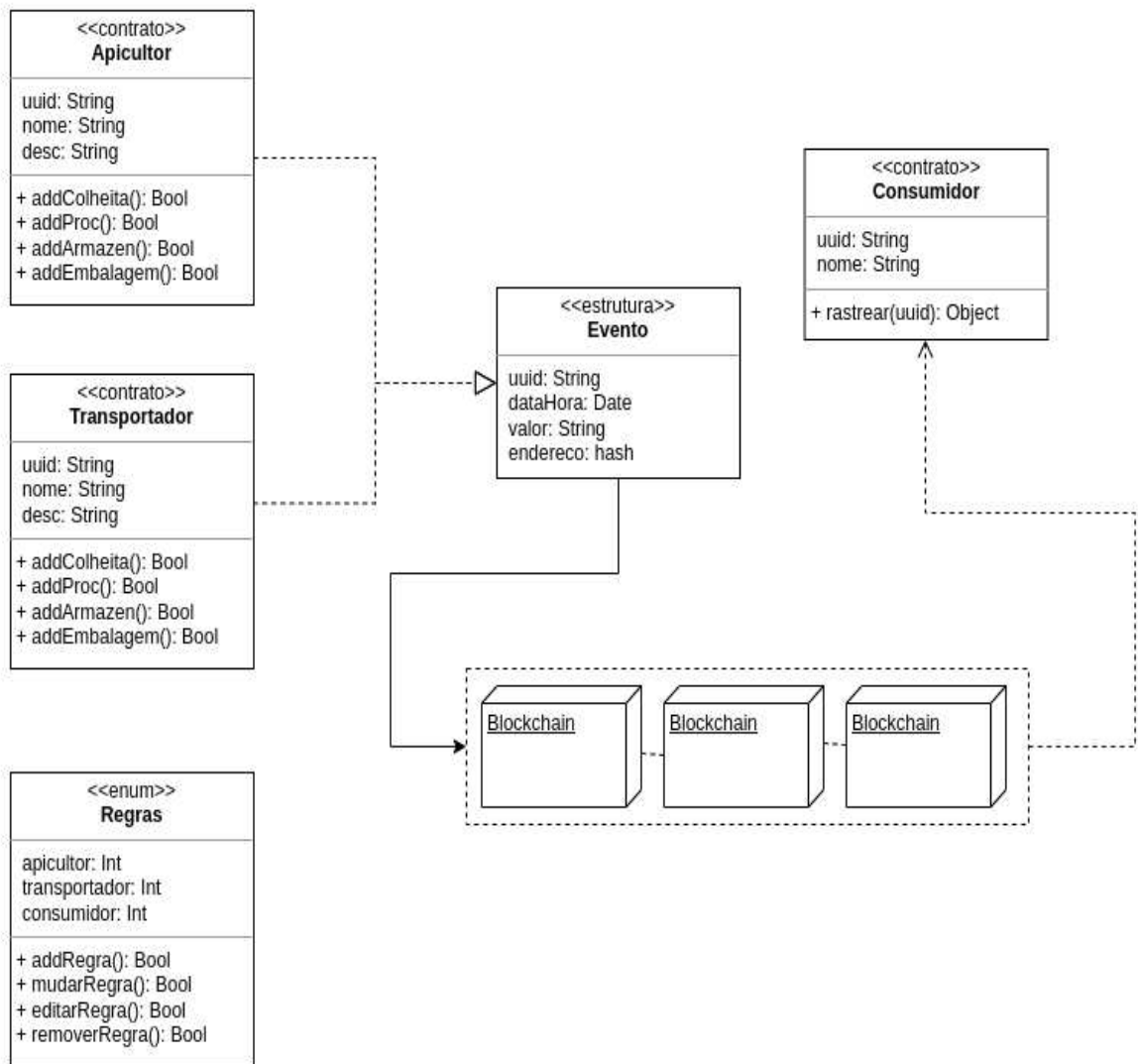
Após a conclusão da análise do domínio do problema, bem como a identificação e



descrição dos principais atores envolvidos na cadeia produtiva do mel, adentramos na fase de projetar a estrutura do nosso sistema. Essa fase inicial de design é fundamental para estabelecer uma base sólida que suportará a implementação posterior das soluções tecnológicas, incluindo a tecnologia *blockchain*.

Nesse contexto, a Figura 14 apresenta o diagrama de classes UML que representa de forma abrangente a estrutura básica da aplicação. Esse diagrama encapsula as relações e interações entre os diferentes elementos do sistema, fornecendo uma visão holística de como os atores se conectam, compartilham informações e desempenham papéis específicos ao longo da cadeia produtiva do mel.

Figura 14 – Diagrama de classes UML representando as interações no sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

O diagrama de classes UML atua como uma ferramenta visual poderosa que auxilia

no planejamento da implementação, fornecendo diretrizes claras para o desenvolvimento de componentes e funcionalidades do sistema. Com essa estrutura definida, estaremos prontos para dar continuidade ao projeto, assegurando que a tecnologia *blockchain* seja integrada de maneira eficaz e que a rastreabilidade na cadeia produtiva do mel seja aprimorada com sucesso.

### 3.2.3 Escolhendo a Tecnologia

A escolha da tecnologia *blockchain* desempenha um papel fundamental na implementação bem-sucedida de um sistema de rastreabilidade na cadeia produtiva do mel. Cada projeto e aplicação de *blockchain* pode apresentar requisitos e características distintas que influenciam a escolha da plataforma mais apropriada. Nesse contexto, é imperativo realizar uma análise abrangente das opções disponíveis para garantir que a tecnologia selecionada atenda plenamente às necessidades do projeto.

Para este fim, a partir da "Matriz de Pugh", que se trata de uma ferramenta metodológica para seleção de alternativas de solução utilizando-se um diagrama de pontuação (ISIXSIGMA, 2014), foi montada a Tabela 6, que consiste em uma matriz onde as alternativas de solução e os critérios de avaliação são colocados na primeira linha e primeira coluna respectivamente. Nesse método as alternativas são comparadas e, para cada critério de avaliação, haverá um julgamento, atribuindo uma pontuação. Portanto, a tabela criada visa a proporcionar uma visão analítica das características essenciais de diferentes projetos da *Hyperledger*, nomeadamente o *Hyperledger Iroha*, o *Hyperledger Fabric*<sup>1</sup> e o *Hyperledger Sawtooth*. Cada um desses projetos oferece particularidades únicas que podem afetar a implementação de um sistema de rastreabilidade. Por meio dessa análise comparativa, é possível avaliar de forma mais objetiva qual projeto melhor atende aos critérios estabelecidos para a cadeia produtiva do mel. A escolha pelo método da matriz de decisão de Pugh é especialmente recomendada quando somente uma solução ou abordagem pode ser implementada e quando a decisão deve ser tomada tendo muitos critérios como base (ISIXSIGMA, 2014).

Adaptada do método da Matriz de Pugh (ISIXSIGMA, 2014), a pontuação na Tabela 6 foi atribuída seguindo o formato: 0 - Irrelevante ou não aplicável, 1 - Pouco relevante e 2 - Muito relevante. Essa metodologia de classificação ajuda a destacar a importância relativa de cada característica e fornece uma base sólida para compreender as razões por trás da escolha estratégica do *Hyperledger Iroha* como a plataforma preferencial para este projeto.

<sup>1</sup> <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.5/>

Tabela 6 – Comparação entre *Hyperledger Iroha*, *Fabric* e *Sawtooth*

Características	<i>Iroha</i>	<i>Fabric</i>	<i>Sawtooth</i>
Linguagens de Programação	2	1	1
Contratos Inteligentes	2	1	1
Comunidade Ativa	2	2	1
Arquitetura Modular	2	2	2
Módulos Personalizáveis	2	2	0
Suporte a Linguagens Diversas	2	1	1
Adoção em Empresas de Grande Porte	2	2	1
Total	14 pontos	11 pontos	7 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, a aplicação do *Hyperledger Iroha* na rastreabilidade do mel permite o registro transparente e imutável de informações em toda a cadeia produtiva, conforme mencionado na Seção 2.4. Desde o momento da colheita até a distribuição, os participantes podem registrar e acessar dados relevantes, proporcionando uma visão abrangente e confiável da produção.

Ao considerar a tecnologia *blockchain* para a rastreabilidade na cadeia produtiva do mel, o *Hyperledger Iroha* destaca-se como uma opção promissora, oferecendo simplicidade, segurança e flexibilidade para atender às demandas específicas dessa pesquisa.

### 3.2.4 Configuração do Equipamento

Neste trabalho, os experimentos foram conduzidos com o objetivo de avaliar a eficácia da utilização da rede *Hyperledger Iroha* no rastreamento e certificação da produção de mel. Para isso, utilizamos um computador equipado com um processador Intel Core i5-8300H de 8ª geração, 16 GB de memória RAM DDR4, uma placa de vídeo dedicada NVIDIA GeForce GTX 1050 com 4 GB de VRAM gDDR5 e sistema operacional Linux Ubuntu 20.04 LTS (Focal Fossa) como ferramenta de teste.

### 3.2.5 Configuração da Rede

Inicialmente, foi imperativo configurar as propriedades da rede privada, conforme detalhado na Seção 2.4.3.1 e visualizado na Figura 8. A Tabela 7 realiza uma correspondência direta no mapeamento do desafio relacionado ao rastreamento da cadeia produtiva.

Após essa etapa, os nós validadores foram responsáveis por validar e incluir as transações na rede, garantindo a integridade e a confiabilidade dos dados. É importante destacar que, por padrão, a *Hyperledger Iroha* possui quatro nós validadores, nomeadamente: *iroha-lts\_iroha0\_1*, *iroha-lts\_iroha1\_1*, *iroha-lts\_iroha2\_1* e *iroha-lts\_iroha3\_1*.

Tabela 7 – Relacionamento do Modelo de Dados para o cenário do rastreo da cadeia produtiva do mel

Atributos	Características	Convenção de nomenclatura na Rede
Domain	Apiários	apiary_domain_[random_number]
Domain	Transportadoras	transport_domain_[random_number]
Account	Acesso dos Apiários	apiary_user_[random_number]@domain_name
Account	Acesso das Transportadoras	transport_user_[random_number]@domain_name
Account	Acesso dos Consumidores	consumer_user_[random_number]@domain_name
Assets	Registro das Colheitas	asset_harvesting_[random_number]#domain_name
Assets	Registro dos Processamentos	asset_processing_[random_number]#domain_name
Assets	Registro das Embalagens	asset_packaging_[random_number]#domain_name
Assets	Registro dos Transportes	asset_distribution_[random_number]#domain_name

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra etapa importante na configuração da rede foi o desenvolvimento de contratos inteligentes. Como mencionado na Seção 2.4, os contratos inteligentes constituem-se uma das fundações teóricas na tecnologia *blockchain*. Tratam-se de programas que garantem a automatização de processos e a execução de regras específicas (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016). No caso do rastreamento do mel, os contratos inteligentes foram usados para certificar que a produção de mel cumpria os padrões de qualidade e sustentabilidade estabelecidos. Isso incluiu a verificação de critérios como a origem e as condições de produção do mel. O código dos contratos inteligentes utilizados na solução *Beechain*, desenvolvida neste trabalho, encontra-se no Apêndice C.

Em síntese, ao configurar uma rede privada usando *Hyperledger Iroha*, estabelecendo nós validadores e desenvolvendo contratos inteligentes, garantimos maior segurança, privacidade, escalabilidade e eficiência na execução de transações em um ambiente distribuído. Além de possibilitar a automação de processos, esta configuração também promove a eliminação de intermediários desnecessários, contribuindo para a redução de custos e aprimoramento da transparência e da confiança entre os participantes da rede.

### 3.2.5.1 Identidade digital

Essencialmente, se qualquer pessoa puder acessar a rede sem restrições, estamos lidando com uma rede pública ou sem permissão. Já se houver uma lista de permissões, trata-se de uma rede privada ou com permissão limitada (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016).

Neste contexto, para fins desta pesquisa, os participantes da cadeia de rastreo, foram registrados na rede para obter as suas identidades digitais (ou seja, endereço único na rede). A Tabela 8 exemplifica a saída desse processo de cadastro por um dos atores da cadeia enviando

uma requisição para a API REST (*Application Programming Interface e Representation State Transfer*). Perceba que após a solicitação de cadastro na rede, o ator terá em sua posse a chave pública e chave privada.

Tabela 8 – Retorno da solicitação de registro de um novo ator na rede *blockchain*

Atributos	Valor
Chave Pública	ed0120939cc5fb294f79a45605359a4874a9c903aee6042287b759c9dae3379aa92988
Chave Privada	27fe229ac385f7ad9b438f829f6b1d37ef9...9c903aee6042287b759c9dae3379aa92988
Criptografia	ed25519

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: A ed25519 é uma função de assinatura digital segura, eficiente e amplamente usada na criptografia de chave pública.

Assim, nesta etapa, a chave pública foi compartilhada com a rede, enquanto a chave privada foi mantida confidencial pelo proprietário da identidade. Em suma, ao permitir que os participantes assinassem transações e comprovassem sua identidade para outros indivíduos na rede, tornou-se possível promover a segurança e a autenticidade das operações realizadas.

Portanto, a etapa de rastreamento, descrita na Subseção 3.2.5.2 a seguir, está baseada na ideia de que toda transação possui uma prova pública e auditável de autorização para interagir com o sistema, o que garante provas inegáveis de qualquer ação ocorrida dentro da *blockchain*. Logo, dizemos que a *blockchain* permite redes seguras, ainda que não haja confiança prévia entre os usuários, pois utiliza mecanismos de proteção para garantir a integridade e a veracidade das transações (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016).

### 3.2.5.2 Rastreamento

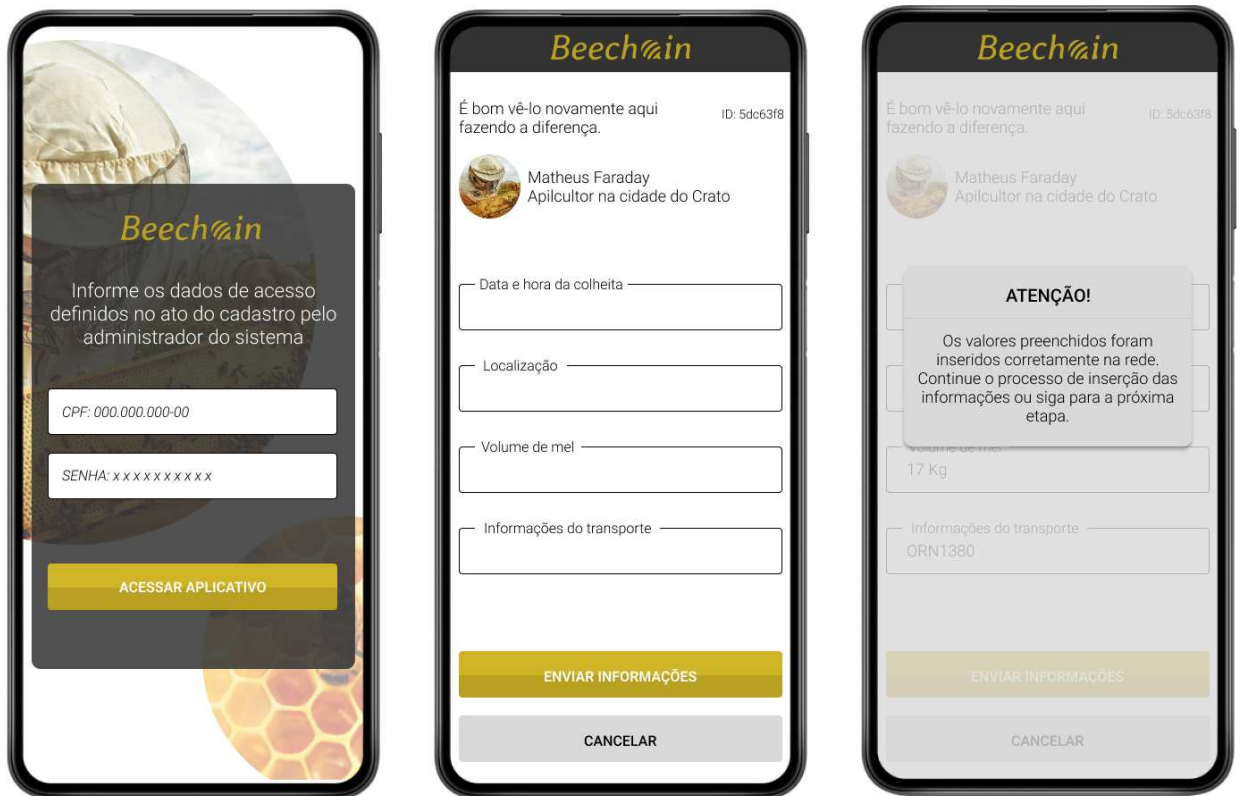
Cada etapa do processo de produção do mel, desde a colheita até a saída do apiário, foi registrada na rede *Hyperledger Iroha* usando transações. Essas transações incluíram informações detalhadas, como a data e hora da colheita, a localização da colmeia, o volume de mel colhido e também as informações de transporte. Cada um desses atributos foi escolhido para fornecer maior precisão da proveniência do produto.

Para facilitar esse processo, foi desenvolvido um aplicativo simples e intuitivo (Figura 15), que permitiu aos participantes da cadeia de rastreio mencionados na Subseção 3.2.5.1 registrar e acessar as informações de suas transações de forma segura, usando suas identidades digitais criadas na plataforma.

Assim, sabendo que transparência e rastreabilidade estão correlacionadas (FRAN-

CISCO; SWANSON, 2018), é nesse momento que a plataforma se torna fundamental, pois permite que todos os envolvidos tenham acesso às informações e possam verificar a validade dos processos, estabelecendo a confiabilidade e a credibilidade dos dados e das transações realizadas.

Figura 15 – Aplicativo desenvolvido para ser utilizado nas inserções das informações na *blockchain*



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.5.3 Transparência

A transparência na divulgação de informações é essencial para a construção da confiança, e a tecnologia pode contribuir para a segurança alimentar ao fornecer maior visibilidade sobre a produção e origem dos alimentos (SINGH; SHARMA, 2022; AHMED; BROEK, 2017).

Desta forma, por meio do livro-razão distribuído da *Hyperledger Iroha*, cada ação foi registrada em blocos que foram interligados, criando uma cadeia de atividades que pode ser catalogada historicamente. Essa estrutura de dados permite que os usuários visualizassem todas as interações na rede, o que aumentou a confiabilidade e responsabilidade dos envolvidos.

Os usuários da cadeia, inclusive os consumidores, são capazes de acessar informações

detalhadas sobre todas as etapas da produção do mel por meio do aplicativo móvel, permitindo-lhes verificar a origem e qualidade do mel que estão adquirindo. Essas informações podem ser acessadas mediante uma chave de acesso única (*QR Code*) a ser disponibilizada na embalagem do mel. As telas da interface do aplicativo estão ilustradas na Figura 16.

Figura 16 – Telas do aplicativo desenvolvido para consulta dos consumidores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na próxima subseção, discutiremos sobre como a plataforma *Hyperledger Iroha* foi usada para criar certificações confiáveis para promover transparência na cadeia de produção do mel.

#### 3.2.5.4 Certificação

Em sentido amplo, certificação é um processo que consiste em avaliar e validar formalmente atributos de um produto, serviço ou processo, por meio de um conjunto de critérios estabelecidos por uma entidade ou órgão certificador.

Especialmente quando se trata de produtos orgânicos, sustentáveis e de origem controlada, a certificação assume um papel ainda mais relevante para assegurar a qualidade e autenticidade dos produtos alimentícios (BRASIL, 2021).

Estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) sobre as aplicações, desafios e oportunidades da agricultura digital observou que 33% dos profissionais do agronegócio brasileiro gostariam de iniciar e/ou fortalecer o processo de certificação da cadeia produtiva (BOLFE *et al.*, 2020b). No entanto, muitas vezes os processos de certificação tradicionais são caros, burocráticos e sujeitos a fraudes e falsificações.

Diante disso, a rede *Iroha* oferece uma solução mais econômica e menos burocrática para certificar, de modo confiável, que a produção de mel cumpriu os padrões de qualidade e sustentabilidade. Isso foi possível a partir da utilização de contratos inteligentes que validaram as informações de produção e garantiram que todos os participantes da cadeia de suprimentos estavam cumprindo estritamente os regulamentos e padrões estabelecidos nas etapas de criação das informações quando inseridas no aplicativo.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentamos os resultados obtidos por meio de simulações da implementação do sistema *Beechain*, uma solução de rastreamento de mel de abelha baseado em *blockchain Hyperledger Iroha* descrito no Capítulo 3. Na Seção 4.1 descrevemos e avaliamos os cenários de execução da solução que foram simulados e apresentamos os resultados dos testes funcionais de validação da aplicação. Por fim, na Seção 4.2, discutimos sobre os principais desafios de implementação identificados.

### 4.1 Simulações

As simulações desempenharam um papel crucial na avaliação da eficácia do sistema proposto, almejando alcançar diversos objetivos fundamentais para a verificação da integridade dos dados na rede. Uma abordagem sistemática foi adotada, centrada na capacidade do sistema em registrar informações ao longo de todas as etapas do ciclo produtivo do mel, desde a colheita até a distribuição.

As simulações foram conduzidas com os seguintes objetivos:

1. **Verificar a Capacidade de Registro de Informações:** Avaliar se o sistema permite o registro de informações em todas as etapas do ciclo produtivo do mel, desde a colheita até a distribuição.
2. **Garantir a Precisão das Informações:** Verificar se as informações registradas são precisas e refletem com fidelidade a realidade, contribuindo para a rastreabilidade confiável do mel.
3. **Testar a Integração da Cadeia Produtiva:** Assegurar que todas as partes interessadas, incluindo apicultores, processadores e consumidores, possam acessar e validar informações relevantes na *blockchain*.

Na Subseção 4.1.1 a seguir, descrevemos as simulações e testes de resiliência realizados, detalhando as configurações dos experimentos empreendidos e os resultados obtidos. A Subseção 4.1.2, por sua vez, aponta os principais resultados qualitativos obtidos nesta pesquisa.

### 4.1.1 Configuração Experimental e Testes de Resiliência na Rede Blockchain

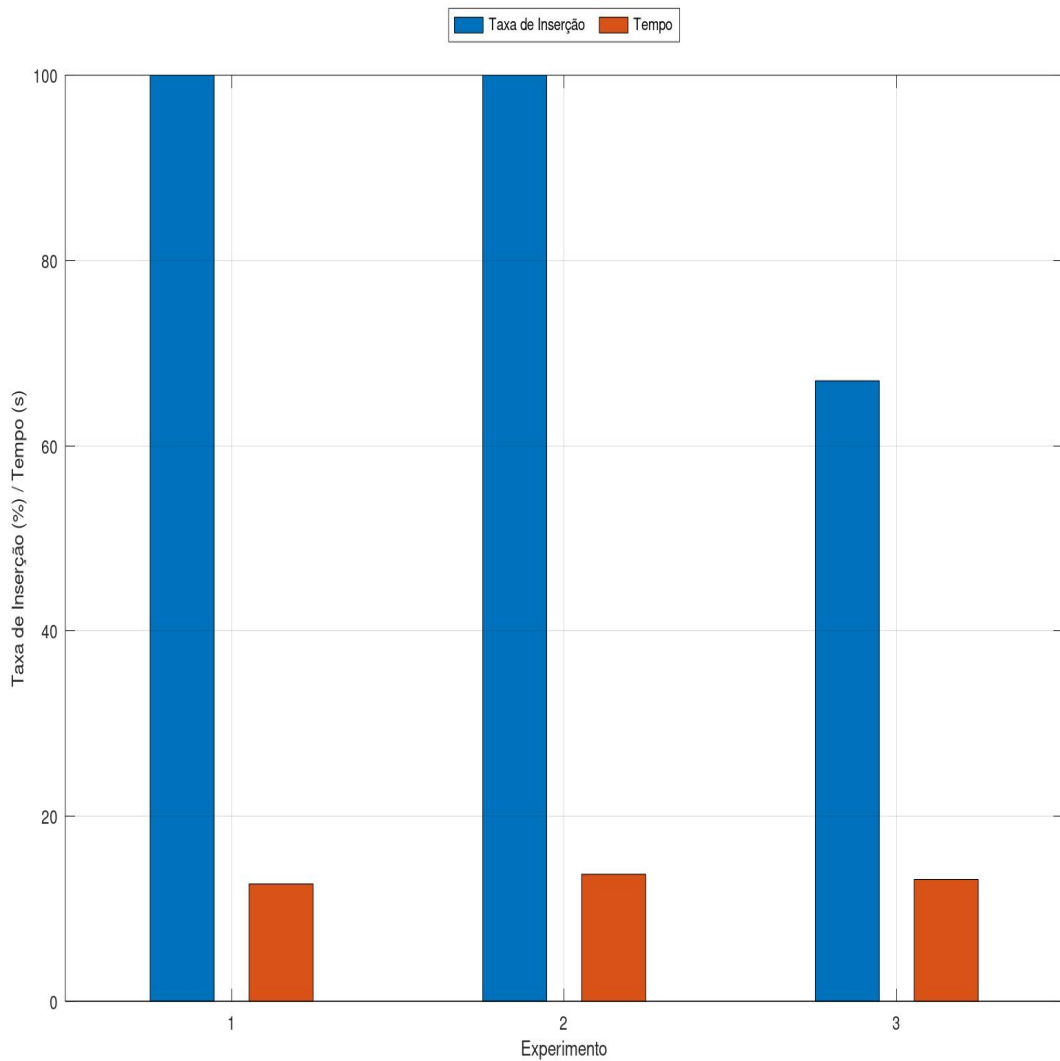
A execução das operações de inserção de dados na rede *blockchain* foi realizada de maneira cuidadosa, seguindo etapas claramente definidas. A fim de avaliar a robustez e a resiliência da implementação, os cenários de simulação foram delineados em quatro experimentos distintos. Cada experimento é descrito abaixo.

- **Experimento 1:** Avaliação da resiliência com um nó desligado
  - Cenário: Desativação do nó *iroha-lts\_iroha1\_1*, mantendo os nós *iroha-lts\_iroha0\_1*, *iroha-lts\_iroha2\_1* e *iroha-lts\_iroha3\_1* ativos.
  - Resultado: 100% dos dados foram inseridos corretamente na rede.
  - Quantidade de Inserções: 100
  - Tempo (s): 12.67
  - Considerações: Este experimento simulou uma situação em que um dos nós da rede foi desativado. Mesmo com a ausência do nó *iroha-lts\_iroha1\_1*, a rede demonstrou robustez, mantendo a integridade das operações de inserção de dados. Essa observação sugere uma capacidade satisfatória de recuperação e distribuição de tarefas entre os nós remanescentes.
  
- **Experimento 2:** Resiliência em caso de dois nós desligados
  - Cenário: Desativação dos nós *iroha-lts\_iroha1\_1* e *iroha-lts\_iroha2\_1*, mantendo ativos apenas os nós *iroha-lts\_iroha0\_1* e *iroha-lts\_iroha3\_1*.
  - Resultado: 100% dos dados foram inseridos corretamente na rede.
  - Quantidade de Inserções: 100
  - Tempo (s): 13.71
  - Considerações: Este experimento visou avaliar a resiliência da rede diante da desativação simultânea de dois nós. Apesar da redução na capacidade da rede, todos os dados foram inseridos com sucesso, indicando uma capacidade eficaz de adaptação e continuidade operacional.
  
- **Experimento 3:** Desafio com três nós desligados
  - Cenário: Desativação dos nós *iroha-lts\_iroha1\_1*, *iroha-lts\_iroha2\_1* e *iroha-lts\_iroha3\_1*, mantendo ativo apenas o nó *iroha-lts\_iroha0\_1*.
  - Resultado: 67% dos dados foram inseridos corretamente na rede.

- Quantidade de Inserções: 100
- Tempo (s): 13.16
- Considerações: Ao desativar três nós simultaneamente, observamos uma redução significativa na capacidade da rede de inserir dados corretamente. Esse cenário representa um desafio à resiliência do sistema, resultando em uma taxa de sucesso inferior.

Os resultados dos experimentos de resiliência, como destacado no gráfico gerado (Figura 17), fornece *insights* valiosos sobre a capacidade da rede *blockchain* em lidar com cenários adversos.

Figura 17 – Gráfico de Resultados dos Experimentos de Resiliência na Rede *Blockchain*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os experimentos, que utilizaram o Algoritmo 1 para a simulação das inserções

na rede *blockchain*, exploraram situações de falha ao desativar diferentes nós. Observamos que, mesmo diante da desativação de um nó (Experimento 1) ou dois nós simultaneamente (Experimento 2), a rede manteve uma taxa de sucesso de 100%. No entanto, ao desativar três nós simultaneamente (Experimento 3), notamos uma redução na capacidade da rede, resultando em uma taxa de sucesso de 67%.

Esses resultados indicam, portanto, uma resiliência robusta em condições de falha moderada, destacando a eficácia da implementação proposta. No entanto, a análise crítica dos dados também aponta para áreas potenciais de aprimoramento, especialmente em cenários mais desafiadores como abordado na Seção 4.2.

---

**Algoritmo 1:** Simulação de Inserções na Rede Blockchain

---

**Entrada:** Configurações da Rede Blockchain, Lista de Experimentos;

**Saída:** Resultados dos Experimentos;

**for** *cada experimento em Lista de Experimentos* **do**

    Configurar a rede de acordo com o experimento;

    Iniciar transação na rede;

**for**  $i \leftarrow 1$  *até Quantidade de Inserções* **do**

        Gerar dados de transação;

        Assinar dados com a chave privada do produtor;

        Enviar transação para a rede;

        Aguardar confirmação de consenso;

**end**

    Verificar integridade dos dados na rede;

    Registrar resultado do experimento;

**end**

---

#### 4.1.2 Resultados qualitativos dos testes quanto ao atendimento de requisitos

Avaliando os testes funcionais de validação realizados no sistema conceito de rastreio da cadeia produtiva do mel utilizando a tecnologia *Hyperledger Iroha*, objeto deste estudo, foram observados os seguintes resultados quanto ao atendimento dos requisitos listados na Subseção 3.2.1:

##### 1. Maior integração da cadeia produtiva

Nos experimentos realizados, verificamos que 100% dos dados registrados puderam ser efetivamente consultados por todos os usuários da rede.

Assim, inferimos que a implementação de uma rede de atores que compartilham informações em uma plataforma integrada, juntamente com a utilização de contratos inteligentes,

permite um fluxo de informações mais eficiente e seguro entre os diferentes elos da cadeia de produção do mel. Isso pode resultar em uma maior eficiência operacional, bem como em uma redução dos riscos de fraudes e erros de registro, como corroboram os trabalhos de (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016) e (SHINGH *et al.*, 2020).

## **2. Precisão das Informações:**

As informações registradas refletiram com precisão a realidade, garantindo a autenticidade e integridade dos dados na *blockchain*.

Com acesso a informações precisas e detalhadas em cada etapa da produção, os produtores podem analisar e melhorar seus processos, o que impacta diretamente na qualidade do produto final.

De acordo com os pressupostos de (FRANCISCO; SWANSON, 2018) e de (MENDONÇA *et al.*, 2020), tais resultados podem propiciar uma melhoria significativa na qualidade dos produtos e da segurança alimentar.

## **3. Certificação da qualidade do produto**

As simulações no sistema conceito também confirmaram que o nível de rastreabilidade alcançado pela rede *blockchain*, como preconizado nas fundações teóricas desta dissertação por (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016) e (HYPERLEDGER, 2015), permite certificar a sanidade e a qualidade dos produtos.

A rede *blockchain* também simplifica auditorias e certificações externas, ao fornecer um registro seguro e inalterável de transações. Sua natureza descentralizada e transparente permite uma verificação eficiente, reduzindo a necessidade de auditorias extensivas. Além disso, facilita a replicação de modelos de sucesso.

## **4. Acesso a informações detalhadas sobre o produto pelo consumidor**

Nos testes executados, que utilizaram o Algoritmo 2 para a simulação da leitura dos dados na rede, confirmamos que o sistema possibilitou o acesso de informações detalhadas sobre todas as etapas da produção do mel aos consumidores por meio do aplicativo móvel, permitindo-lhes verificar a origem e qualidade do mel que estão adquirindo. Essas informações podem ser acessadas por meio de uma chave de acesso única (*QR Code*).

---

**Algoritmo 2:** Rastreamento da Cadeia Produtiva do Mel pelo Consumidor
 

---

**Entrada:** Identificação do Consumidor, Transação na Rede Blockchain;

**Saída:** Informações sobre a Origem do Mel;

Iniciar sessão do Consumidor na rede;

Selecionar uma transação específica relacionada ao mel de interesse;

Recuperar informações da transação na rede;

**if** *Transação existir na rede* **then**

    | Exibir detalhes sobre a origem do mel;

    | Exibir histórico de transações relacionadas;

**end**

**else**

    | Exibir mensagem de que a transação não foi encontrada;

**end**

---

Diante da análise desses resultados, verificamos que as simulações confirmaram que o sistema *Beechain* atende aos seus objetivos de registro, validação, integração da cadeia produtiva e usabilidade. Isso é essencial para garantir a eficácia do sistema na rastreabilidade do mel e na promoção da transparência ao longo da cadeia produtiva. Os resultados desses testes funcionais respaldam a viabilidade e a utilidade do sistema na indústria apícola.

## 4.2 Desafios de Implementação

No decorrer desta dissertação, identificamos diversos desafios práticos e tecnológicos que impactam a implementação de um sistema de rastreamento de mel baseado em *blockchain* e que devem ser considerados para garantir o sucesso do projeto. A seguir, são destacados alguns dos principais desafios identificados neste estudos e possíveis soluções:

### Desafios Tecnológicos

- **Escalabilidade:** A *blockchain* pode enfrentar limitações de escalabilidade quando lidando com um grande volume de transações. Isso pode ser superado por meio do uso de soluções de escalabilidade, como a divisão da *blockchain* em várias redes menores ou a implementação de algoritmos de consenso mais eficientes.
- **Custos computacionais:** As transações na *blockchain* podem ser dispendiosas, especialmente em redes públicas. A solução encontrada neste trabalho foi a utilização de redes permissionadas, onde os custos de transação são mais baixos, ou a implementação de mecanismos que reduzem a quantidade de transações

necessárias.

### Desafios Práticos

- **Adoção e Treinamento:** A adesão de apicultores e outros participantes da cadeia produtiva à nova tecnologia pode ser um desafio. Oferecer programas de treinamento e educação é fundamental para garantir que os usuários compreendam como usar o sistema e seus benefícios.
- **Padronização:** Para que a rastreabilidade seja eficaz, é necessário estabelecer padrões e protocolos comuns para a coleta e o compartilhamento de dados. A colaboração entre partes interessadas é fundamental para criar diretrizes comuns.
- **Privacidade e Segurança de Dados:** Garantir a privacidade dos dados é essencial, especialmente quando se trata de informações sensíveis, em cumprimento da legislação pertinente. Implementar medidas de segurança robustas, como criptografia, autenticação de usuários e gerenciamento de permissões, é vital.
- **Conectividade e Acesso à Internet:** Embora haja muito avanço na promoção da Agricultura Digital, incluindo os projetos da iniciativa SemeAr da EMBRAPA (EMBRAPA, 2023), em regiões remotas, onde a conectividade à Internet pode ser limitada, garantir o acesso ao sistema pode ser um desafio. Conforme (BOLFE *et al.*, 2020a) o acesso à internet no meio rural, a depender das regiões do país, ainda apresenta dificuldades em diferentes escalas, como serviços, cobertura, velocidade e equipamentos. Mesmo diante dessas dificuldades, a população rural, de modo geral, está cada vez mais conectada entre si e com o meio urbano. Todavia, a oferta de soluções offline e sistemas de armazenamento temporário de dados podem ser considerados para lidar com as possíveis situações de perda de conexão.
- **Resistência à Mudança:** A resistência à adoção de novas tecnologias é comum. A conscientização e a comunicação eficaz sobre os benefícios da rastreabilidade baseada em *blockchain*, por meio de distribuição de materiais instrucionais, participações em eventos/feiras do próprio setor-alvo e ações comunicacionais de iniciativa governamental, podem ajudar a superar essa resistência.
- **Custos Iniciais de Implementação:** A implementação de um sistema de *blockchain* pode ser dispendiosa, envolvendo custos de desenvolvimento, treinamento

e infraestrutura. Soluções como parcerias e colaborações com outros atores da cadeia produtiva de mel, como apicultores, processadores, cooperativas, distribuidores e até mesmo órgãos governamentais. Compartilhar os custos iniciais entre as partes interessadas pode reduzir a carga financeira de cada um. Outra alternativa seria a busca de financiamento de agências governamentais, programas de incentivo à inovação ou organizações sem fins lucrativos que possam fornecer subsídios ou apoio financeiro para projetos relacionados à rastreabilidade de alimentos. A combinação de estratégias pode ajudar a mitigar os custos iniciais de implementação de um sistema de *blockchain* para rastreio de mel de abelha, tornando-o mais acessível e sustentável para os participantes da cadeia produtiva. É fundamental considerar as necessidades específicas da indústria apícola e buscar soluções que se adaptem às circunstâncias locais.

- **Desafios Legais e Regulatórios:** Garantir a conformidade com regulamentações locais e internacionais é fundamental. Consultar especialistas em regulamentações e colaborar com autoridades regulatórias pode auxiliar na conformidade.

Em resumo, a implementação de um sistema de rastreamento de mel baseado em *blockchain* envolve desafios tecnológicos e práticos que requerem planejamento cuidadoso e abordagens específicas. A colaboração entre as partes interessadas, a escolha da *blockchain* adequada, a implementação de medidas de segurança e a conscientização dos usuários são elementos cruciais para superar esses desafios e alcançar o sucesso na rastreabilidade do mel.



## 5 CONCLUSÃO

Nesta dissertação, concebemos e implementamos uma solução baseada em tecnologia *blockchain*, nomeada de *Beechain*, para aprimorar a transparência e a rastreabilidade na cadeia produtiva de mel, visando assegurar a integridade e a confiabilidade desse processo. Na Seção 5.1, as três questões de pesquisa levantadas na Seção 1.3 deste estudo são respondidas e suas respectivas hipóteses são confirmadas. São, também, expostas as conclusões gerais obtidas a partir dos resultados apresentados no capítulo anterior. A produção científica decorrente deste estudo foi descrita na Seção 5.2, enquanto a Seção 5.3 enumera as perspectivas de futuros trabalhos a serem desenvolvidos com base nesta dissertação.

### 5.1 Considerações finais

Os resultados dos experimentos realizados confirmaram as hipóteses levantadas no capítulo introdutório desta pesquisa, indicando que a adoção da *blockchain* na rastreabilidade da cadeia do mel mostrou ser uma solução eficaz para conferir a transparência e segurança na produção e comercialização do mel.

Validamos a Hipótese 1, pois os resultados atestaram que a tecnologia *Hyperledger Iroha* permitiu o registro imutável e monitoramento de todas as etapas do processo, desde a colheita até a venda final, garantindo a origem e qualidade do produto.

Além disso, concluímos também que a integração de diferentes agentes da cadeia produtiva do mel, como produtores, cooperativas e varejistas, favoreceu uma comunicação mais eficiente e colaborativa.

A Hipótese 2, referente aos desafios práticos e tecnológicos na implementação do sistema de rastreio, foi confirmada. Neste trabalho, conforme discutido na Seção 2.3.1 e na Seção 4.2 evidenciamos que a implementação de um sistema de rastreio de mel baseado em *blockchain* envolve desafios práticos e tecnológicos, como custos iniciais de implementação e questões de conformidade legal e regulatória.

Os resultados obtidos corroboram com a Hipótese 3. Como mencionado na Seção 2.3.1, a adoção dessa tecnologia pode promover vários benefícios, incluindo maior confiança do consumidor nos produtos adquiridos e na cadeia produtiva do mel como um todo, ampliando as possibilidades de comercialização do mel produzido, conferindo-lhe maior competitividade. O uso de sistemas de rastreabilidade na cadeia apícola, fornece segurança para o comprador da

origem do mel, pré-requisito exigido cada vez mais no mercado internacional, haja vista que a rastreabilidade do mel através da tecnologia *blockchain* pode ajudar a prevenir fraudes e práticas comerciais desonestas, garantindo que o produto que está sendo vendido seja realmente o que está sendo anunciado.

Ademais, a implementação da tecnologia *blockchain* na cadeia produtiva do mel também pode ajudar a valorizar o produto e promover a sustentabilidade ambiental e social. Ao fornecer informações detalhadas sobre as práticas de produção do mel, os consumidores podem tomar decisões mais conscientes e apoiar os produtores que seguem boas práticas de produção.

Por fim, é importante destacar que os experimentos realizados tratam-se de simulações e que sua implementação em larga escala poderá trazer benefícios significativos para toda a cadeia produtiva do mel e incentivar outras indústrias alimentícias a adotarem a tecnologia *blockchain* para aprimorar seus processos e garantir a qualidade dos produtos oferecidos aos consumidores.

## 5.2 Produção Científica

A partir do trabalho descrito nesta dissertação, foram desenvolvidos dois artigos científicos: o primeiro foi publicado e apresentado no Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA) de 2023. O WCAMA é um evento realizado durante o Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC) de 2023; o segundo, publicado e apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Agroinformática (SBIAgro) de 2023. O SBIAgro é o principal evento científico do país para discussão dos resultados, alcance e desafios das pesquisas básica e aplicada em computação nas ciências agrárias.

A seguir, as descrições das referências das publicações:

- BARBOSA, Francisco Ronald Araújo; BRAGA, Antonio Rafael; GOMES, Danielo G. Aplicando Blockchain Hyperledger Iroha para Rastrear Mel de Abelha. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 14. , 2023, João Pessoa/PB. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 11-20. ISSN 2595-6124. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2023.229849>.

- LIMA, Samuel Brandão Maia; BARBOSA, Francisco Ronald Araújo; BRAGA, Antonio Rafael; BOMFIM, Isac Gabriel Abrahão; GOMES, Danielo G. Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Mel com Blockchain. In: ANAIS DO XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA (SBIAgro), ST:16 Agricultura de Precisão IV, 2023, Natal/RN. Natal: SBIAgro, 2023.

### 5.3 Trabalhos Futuros

A implementação de um sistema de rastreamento baseado em *blockchain Hyperledger Iroha* na cadeia de produção de mel de abelha representa uma etapa significativa na busca por maior transparência e confiabilidade. No entanto, há várias oportunidades e desafios que podem ser explorados em trabalhos futuros para aprimorar ainda mais a solução proposta. A seguir, elencamos algumas sugestões para pesquisas e desenvolvimentos futuros:

#### 1. Escalabilidade e Desempenho:

Investigar estratégias de escalabilidade para lidar com um aumento significativo no volume de dados à medida que mais produtores adotam o sistema de rastreamento baseado em *blockchain*. Isso pode incluir a otimização da infraestrutura de rede e a implementação de mecanismos de consenso eficientes.

#### 2. Integração com Outros Aplicativos:

Explorar a integração do sistema de rastreamento com outros aplicativos de gerenciamento da cadeia produtiva, como sistemas de gestão de colmeias. Isso permitiria uma visão holística e integrada de toda a operação apícola.

#### 3. Caderno de Campo Digital:

Expansão do sistema para incluir um caderno de campo digital, permitindo que apicultores registrem atividades de manejo, condições climáticas e outras informações relevantes de forma mais eficiente. Isso simplificaria o gerenciamento do apiário e a conformidade com boas práticas apícolas.

#### 4. Desafios de Adoção:

Investigar os desafios de adoção do sistema por parte de pequenos produtores apícolas, incluindo questões de custo, acessibilidade a tecnologias e barreiras culturais. Desenvolver

estratégias para tornar a adoção mais ampla e inclusiva.

5. Limitações da Tecnologia *blockchain*:

Continuar a monitorar e abordar as limitações da tecnologia *blockchain*, como escalabilidade, custos de transação e consumo de energia, à medida que novas soluções e aprimoramentos surgem na comunidade *blockchain*.

6. Privacidade e Segurança de Dados:

Aprofundar a pesquisa sobre questões de privacidade e segurança de dados na cadeia produtiva de mel, garantindo que informações sensíveis estejam protegidas e que apenas partes autorizadas tenham acesso a dados específicos, sobretudo no que tange ao cumprimento de diretrizes legais como a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

7. Educação e Treinamento:

Desenvolver programas de educação e treinamento para apicultores, a fim de garantir que eles estejam plenamente cientes e capacitados para utilizar o sistema de rastreamento e compreender seus benefícios.

8. Sustentabilidade Ambiental:

Investigar a sustentabilidade ambiental da implementação de sistemas *blockchain*, avaliando seu impacto ambiental e identificando maneiras de minimizar a pegada de carbono.

9. Avaliação do Impacto do Consumidor:

Realizar estudos que avaliem o impacto da rastreabilidade baseada em *blockchain* na percepção e nas decisões de compra dos consumidores, a fim de medir o sucesso da solução na construção da confiança do consumidor.

Essas sugestões representam um ponto de partida para pesquisas futuras que podem aprimorar e expandir o sistema de rastreamento baseado em *blockchain* na cadeia de produção de mel de abelha, contribuindo para a melhoria da transparência, qualidade e sustentabilidade do setor apícola.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **Sobre a normalização**. 2023. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/sobre-a-normalizacao>. Acesso em: 11 set. 2023.
- ABNT; SEBRAE. **Normalização: guia de uso e aplicação de normas da cadeia apícola**. 2012. Disponível em: [http://abnt.org.br/images/normalizacao/guias/Guia\\_Cadeia\\_Apicola.pdf](http://abnt.org.br/images/normalizacao/guias/Guia_Cadeia_Apicola.pdf). Acesso em: 04 mar. 2023.
- AHMED, S; BROEK, N. ten. Blockchain could boost food security. **Nature**. [S. l.], v. 550, n. 7674, 2017. p. 43-43. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/550043e>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- BOLFE, É. L. *et al.* **Agricultura digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades: resultados de pesquisa online**. Campinas: Embrapa, v. 44, 2020a.
- BOLFE, É. L. *et al.* Precision and digital agriculture: Adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**. [S. l.], v. 10, n. 12, 2020b.
- BRAGA, A. M. **Tecnologia Blockchain: fundamentos, tecnologias de segurança e desenvolvimento de software**. Campinas: CPQD, 2017.
- BRAGA, A. R. **Modelos de classificação para predição do bem estar de colônias da abelha apis mellifera**. Fortaleza: UFC, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Potencialidades e desafios do agro 4.0: GT III “Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores” Câmara do Agro 4.0**. Brasília: MAPA, 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº 12, de 1978**. Brasília: MS, 1978. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cnnpa/1978/res0012\\_30\\_03\\_1978.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cnnpa/1978/res0012_30_03_1978.html). Acesso em: 02 out. 2023.
- BRASIL, Ministério da Saúde. **Resolução nº 196, de 1996**. Brasília: MS, 1996. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/1996/res0196\\_10\\_10\\_1996.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/1996/res0196_10_10_1996.html). Acesso em: 02 mar. 2023.
- BUMBLAUSKAS, D. *et al.* A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? **International Journal of Information Management**. [S. l.], v. 52, 2020. p. 102008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026840121930461X>. Acesso em: 01 out. 2023.
- CAMARGO, R. C. R. de. *et al.* **Boas práticas na colheita, extração e beneficiamento do mel**. Teresina: Embrapa, 2003.
- CARMO, L. D. B. do *et al.* **Rastreabilidade dos entrepostos de mel no Estado da Paraíba e propostas para minimizar os problemas identificados nos processos de registro**. Campina Grande: UFCG, 2020.

CAVALCANTE, B. *et al.* Histórico das abelhas *apis mellifera* L. no Brasil e a influência do Promotor L® (suplemento aminoácido vitamínico) em áreas de cria e reserva de alimento. *In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA*, 5., 2016, Botucatu. **Anais [...]**. Botucatu: JORNACITEC, 2016. n.p.

CHRISTIDIS, K.; DEVETSIKIOTIS, M. Blockchains and smart contracts for the internet of things. **IEEE Access**. [S. l.], v. 4, 2016. p. 2292-2303. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7467408>. Acesso em: 01 out. 2023.

COSTA, R. de O. **Identificação e hierarquização dos principais problemas existentes na produção de mel de abelha no Estado da Paraíba**. Paraíba: UFPB, 2016.

DROPPA, E. El H. *et al.* Rastreabilidade das causas de não conformidades em meios de cultura. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**. São José dos Pinhais, v. 43, n. 3, 2011. p. 201-212.

DUAN, S. *et al.* BChain: Byzantine replication with high throughput and embedded reconfiguration. *In: AGUILERA, M. K.; QUERZONI, L.; SHAPIRO, M. (ed.). Principles of Distributed Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 91–106.

ECKSCHMIDT, T. *et al.* **Mel Rastreado**: Transformando o setor apícola. São Paulo: Varela, 2012.

EHSAN, I. *et al.* A conceptual model for blockchain-based agriculture food supply chain system. **Scientific Programming**. [S. l.], v. 2022, 2022. p. 1-15. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/7358354>. Acesso em: 22 ago. 2023.

EKE, I. A.; IBEKWE, N. H.; UWALAKA, O. A. Principles of Beekeeping. **Agricultural Technology for Colleges**. Nigeria, 2021. p. 381.

EMBRAPA. **Embrapa e Fapesp lançam projeto em agricultura digital focado em pequenos e médios produtores rurais**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://bit.ly/EMBRAPA-FAPESP>. Acesso em: 30 nov. 2023.

FIGORILLI, S. *et al.* A blockchain implementation prototype for the electronic open source traceability of wood along the whole supply chain. **Sensors**. [S. l.], v. 18, n. 9, 2018. p. 3133. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/9/3133>. Acesso em: 10 out. 2023.

FRANCISCO, K.; SWANSON, D. The supply chain has no clothes: Technology adoption of blockchain for supply chain transparency. **Logistics**. [S. l.], v. 2, n. 1, 2018. p. 2. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6290/2/1/2>. Acesso em: 22 set. 2023.

GOIS, G. C. *et al.* Composição do mel de *Apis mellifera*: Requisitos de qualidade. **Acta Veterinaria Brasilica**. Mossoró, v. 7, n. 2, 2013. p. 137-147.

GONÇALVES, L. Meio Século de apicultura com abelhas africanizadas no Brasil. **Revista Mensagem Doce**. Ribeirão Preto, v. 87, n. 1, 2006. p. 21-26. Disponível em: <http://www.apacame.org.br/mensagemdoce/87/artigo.htm>. Acesso em: 30 nov. 2023.

HYPERLEDGER. **The Open Global Ecosystem for Enterprise Blockchain**. San Francisco: The Linux Foundation, 2015. Disponível em: <https://www.hyperledger.org/about>. Acesso em: 15 set. 2023.

ISIXSIGMA. **Resource Page: Pugh Matrix**. Ridgefield: iSixSigma, 2014. Disponível em: <https://www.isixsigma.com/pugh-matrix-tools-templates/resource-page-pugh-matrix/>. Acesso em: 01 nov. 2023

KHAN, A. A. *et al.* A blockchain and metaheuristic-enabled distributed architecture for smart agricultural analysis and ledger preservation solution: A collaborative approach. **Applied Sciences**. [S. l.], v. 12, n. 3, 2022. p. 1487. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1487>. Acesso em: 26 ago. 2023.

KIM, H. M. *et al.* Permissionless and permissioned, technology-focused and business needs-driven: understanding the hybrid opportunity in blockchain through a case study of insolar. **IEEE Transactions on Engineering Management**. [S. l.], v. 69, n. 3, 2020. p. 776-791.

KSHETRI, N. 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. **International Journal of information management**. [S. l.], v. 39, 2018. p. 80-89.

LEITE, M. D. S. *et al.* Produção, comercialização e exportação de produtos apícolas: uma análise do desempenho da região nordeste brasileira. **Research, Society and Development**. [S. l.], v. 10, n. 10, 2021. p. e466101018897-e466101018897.

LIMA, E. B. D. **Propriedade antioxidante do mel de abelha**. Paraíba: UFPB, 2020.

LIMA, I. S. O. **Apisoft**: sistema de informação para controle de rastreabilidade na cadeia apícola e auxílio no aumento de produtividade do apiário. Rio Grande do Norte: UFRN, 2019.

MARCHESI, L. *et al.* ABCDE—Agile block chain DApp engineering. **Blockchain: Research and Applications**. [S. l.], v. 1, n. 1-2, 2020. p. 100002.

MENDONÇA, R. D. *et al.* Utilização de blockchain na rastreabilidade da cadeia produtiva do leite. *In: WORKSHOP EM BLOCKCHAIN: Teoria, Tecnologia e Aplicações*, 3., 2020, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBC, 2020. p. 55-60.

MURATOV, Fedor *et al.* **YAC: BFT consensus algorithm for blockchain**. arXiv preprint arXiv:1809.00554. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1809.00554>. Acesso em: 14 ago. 2023.

OLIVEIRA, R. R. de. **Gestão da apicultura no Distrito Federal**. Brasília: UNB, 2011.

RIBEIRO, M. de F. *et al.* Apicultura e meliponicultura. *In: MELO, R. F. de; VOLTOLINI, T. V. (ed.). Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. Brasília: Embrapa, 2019.

RODRIGUES, R. de S. **Avaliação das características de produção e da qualidade de mel de apis mellifera da região de Curitibanos/SC**. Curitibanos: UFSC, 2021.

ROSSI, N. F. *et al.* Análise da adulteração de méis por açúcares comerciais utilizando-se a composição isotópica de carbono. **Food Science and Technology**. [S. l.], v. 19, n. 2, 1999. p. 199–204.

RÜNZEL, M. A. *et al.* Designing a smart honey supply chain for sustainable development. **IEEE Consumer Electronics Magazine**. Piscataway, v. 10, n. 4, 2021. p. 69-78. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9356116>. Acesso: 22 de mar. 2023.

SARANRAJ, P.; SIVASAKTHI, S. Comprehensive review on honey: Biochemical and medicinal properties. **Journal of Academia and Industrial Research**. Chennai, v. 6, n. 10, 2018. p. 165-78.

SHINGH, S. *et al.* Dairy supply chain system based on blockchain technology. **Asian Journal of Economics, Business and Accounting**. Hooghly, v. 14, n. 2, 2020. p. 13–19. Disponível em: <https://journalajeba.com/index.php/AJEBA/article/view/313>. Acesso em: 22 mar. 2023.

SINGH, V.; SHARMA, S. K. Application of blockchain technology in shaping the future of food industry based on transparency and consumer trust. **Journal of Food Science and Technology**. Cham: Springer Science and Business Media LLC, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05360-0>. Acesso em: 10 mar. 2023.

VIDAL, M. de F. Agropecuária: Mel natural. **Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza, ano 8, n. 293, jul. 2023.

VINHOLIS, M. de M. B.; AZEVEDO, P. F. de. Segurança do alimento e rastreabilidade: o caso BSE. **RAE eletrônica**. [S. l.], v. 1, 2002. p. 02-19.

WIESE, H.; SALOMÉ, J. A. **Nova apicultura**. [S. l.]: Agrolivros, 2020.

WU, S. *et al.* Consumer demand for local honey. **Applied Economics**. London: Taylor & Francis, v. 47, n. 41, 2015. p. 4377-4394.

XU, X. *et al.* Designing blockchain-based applications a case study for imported product traceability. **Future Generation Computer Systems**. [S. l.], v. 92, p. 399-406, 2019.



## **APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS**

### **ROTEIRO DA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA**

#### **PERFIL DO ENTREVISTADO**

**Questão 1.** Qual sua atuação na cadeia de produção de mel?

**Questão 2.** Quanto tempo trabalha nessa função?

#### **QUESTÕES SOBRE OS OBJETIVOS DA PESQUISA**

**Questão 1.** Produção de Mel

- (a) Como a Conexão Agro está envolvida na produção de mel? Quais são os principais aspectos do processo?
- (b) Pode descrever as etapas da colheita de mel, desde a coleta das abelhas até a embalagem final?
- (c) Quais são os principais desafios enfrentados na produção de mel?

**Questão 2.** Rastreabilidade

- (a) Como a Conexão Agro garante a rastreabilidade na produção de mel?
- (b) Quais sistemas, tecnologias ou práticas são utilizados para rastrear o mel desde a origem até o consumidor final?

**Questão 3.** Certificações e Qualidade

- (a) A Conexão Agro possui certificações de qualidade ou sustentabilidade relacionadas à produção de mel? Quais são elas?
- (b) Como essas certificações impactam a comercialização do mel?
- (c) Qual é a importância da qualidade do mel para a empresa e seus clientes?

**Questão 4.** Parcerias e Mercado

- (a) A Conexão Agro trabalha com outros atores da cadeia de produção de mel, como apicultores locais? Como são essas parcerias?
- (b) Como o mercado de mel tem evoluído nos últimos anos? Quais são as tendências relevantes?

**Questão 5.** Desafios Futuros

- (a) Quais desafios ou oportunidades futuros a empresa antecipa no setor de produção de mel?

**Questão 6.** Considerações Finais

- (a) Existe alguma informação adicional que você gostaria de compartilhar sobre a rastreabilidade na produção de mel?

**APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**

Você está sendo convidado como participante da pesquisa intitulada "BEECHAIN: SISTEMA BASEADO EM BLOCKCHAIN HYPERLEDGER IROHA PARA RASTREAR MEL DE ABELHA", sob a responsabilidade do pesquisador Francisco Ronald Araújo Barbosa.

A pesquisa tem como intuito implementação de uma solução baseada em tecnologia *blockchain*, nomeada de *BEECHAIN*, para melhorar a transparência e a rastreabilidade na cadeia produtiva de mel, visando assegurar a integridade e a confiabilidade desse processo.

Sua participação é voluntária, portanto, você não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações abaixo e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

Sua participação se dará por meio de entrevista direcionada pelo pesquisador. Se depois de consentir em sua participação, você desistir de continuar participando, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa.

Você não terá nenhuma despesa e também não receberá nenhuma remuneração. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados. A qualquer momento você poderá ter acesso a informações referentes à pesquisa, pelos contatos do pesquisador abaixo.

Nome: Francisco Ronald Araújo Babosa Instituição: Universidade Federal do Ceará  
Endereço: Campus do Pici, Bloco 847. CEP: 60440-554 Telefones para contato: (85) 98837-5721

Eu \_\_\_\_\_, possuidor do CPF \_\_\_\_\_, declaro que é de livre e espontânea vontade que estou como participante desta pesquisa. Declaro que li cuidadosamente este TCLE e que, após sua leitura, tive a oportunidade de fazer perguntas sobre o seu conteúdo, como também sobre a pesquisa, e recebi explicações que responderam por completo minhas dúvidas. E declaro, ainda, estar recebendo uma via assinada deste termo.

Fortaleza, \_\_\_\_\_.

**APÊNDICE C – CÓDIGOS-FONTES DOS CONTRATOS INTELIGENTES**

## Código-fonte 1 – Colheita

```
1  #![no_std]
2  #![no_main]
3
4  extern crate alloc;
5
6  use alloc::string::ToString;
7  use iroha_wasm::data_model::prelude::*;
8  use iroha_wasm::iroha_wasm;
9
10 #[iroha_wasm]
11 fn colheita_entry_point(account_id: AccountId, data: String
    , location: String, quantity: u32) {
12     let mel_asset = Asset {
13         definition_id: <AssetDefinition as Identifiable>::
            Id::new("mel", account_id.domain_id.clone()).
                unwrap(),
14         account_id: account_id.clone(),
15     };
16
17     // Verifica se o produtor possui a quantidade de mel
        especificada para colheita.
18     let query = QueryBox::GetAccountAssets(account_id.clone
        ());
19     let assets: Vec<Asset> = query.execute().try_into().
        unwrap();
20
21     let mut mel_found = false;
22     for asset in assets.iter() {
23         if asset == &mel_asset {
```

```
24         mel_found = true;
25         if asset.quantity < quantity {
26             return; // Quantidade insuficiente de mel
                para colheita.
27         }
28     }
29 }
30
31 if !mel_found {
32     return; // O produtor n o possui mel para colheita
        .
33 }
34
35 // Cria um registro da colheita.
36 let colheita_record = ColheitaRecord {
37     data,
38     location,
39     quantity,
40 };
41
42 // Registra o dado da colheita no Iroha.
43 let record_id = RecordId {
44     id: String::new(),
45     creator_id: account_id.clone(),
46 };
47
48 Instruction::Register(RegisterBox::new(record_id,
49     colheita_record)).execute();
}
```

```
1  #![no_std]
2  #![no_main]
3
4  extern crate alloc;
5
6  use alloc::string::ToString;
7  use iroha_wasm::data_model::prelude::*;
8  use iroha_wasm::iroha_wasm;
9
10 #[iroha_wasm]
11 fn processamento_entry_point(account_id: AccountId, data:
    String, location: String, process: String) {
12     // Verifica se o ativo "mel" est  presente na conta do
        produtor.
13     let mel_asset = Asset {
14         definition_id: <AssetDefinition as Identifiable>::
            Id::new("mel", account_id.domain_id.clone()).
                unwrap(),
15         account_id: account_id.clone(),
16     };
17
18     // Cria um registro do processo de processamento.
19     let processamento_record = ProcessamentoRecord {
20         data,
21         location,
22         process,
23     };
24
25     // Registra o dado do processo de processamento.
26     let record_id = RecordId {
27         id: String::new(),
28         creator_id: account_id.clone(),
```

```

29     };
30
31     Instruction::Register(RegisterBox::new(record_id,
32         processamento_record)).execute();
32 }

```

### Código-fonte 3 – Armazenamento

```

1  #![no_std]
2  #![no_main]
3
4  extern crate alloc;
5
6  use alloc::string::ToString;
7  use iroha_wasm::data_model::prelude::*;
8  use iroha_wasm::iroha_wasm;
9
10 #[iroha_wasm]
11 fn armazenamento_entry_point(account_id: AccountId, data:
    String, temperature: String, humidity: String) {
12     let mel_asset = Asset {
13         definition_id: <AssetDefinition as Identifiable>::
            Id::new("mel", account_id.domain_id.clone()).
                unwrap(),
14         account_id: account_id.clone(),
15     };
16
17     // Cria um registro das condições de armazenamento.
18     let armazenamento_record = ArmazenamentoRecord {
19         data,
20         temperature,
21         humidity,

```

```

22     };
23
24     // Registra o dado das condições de armazenamento.
25     let record_id = RecordId {
26         id: String::new(),
27         creator_id: account_id.clone(),
28     };
29
30     Instruction::Register(RegisterBox::new(record_id,
31         armazenamento_record)).execute();

```

#### Código-fonte 4 – Embalagem

```

1  #![no_std]
2  #![no_main]
3
4  extern crate alloc;
5
6  use alloc::string::ToString;
7  use iroha_wasm::data_model::prelude::*;
8  use iroha_wasm::iroha_wasm;
9
10 #[iroha_wasm]
11 fn embalagem_entry_point(account_id: AccountId, data:
12     String, packaging_type: String, labeling_info: String) {
13     let mel_asset = Asset {
14         definition_id: <AssetDefinition as Identifiable>::
15             Id::new("mel", account_id.domain_id.clone()).
16             unwrap(),
17         account_id: account_id.clone(),
18     };

```



```

16
17 // Cria um registro do processo de embalagem.
18 let embalagem_record = EmbalagemRecord {
19     data,
20     packaging_type,
21     labeling_info,
22 };
23
24 // Registra o dado do processo de embalagem.
25 let record_id = RecordId {
26     id: String::new(),
27     creator_id: account_id.clone(),
28 };
29
30 Instruction::Register(RegisterBox::new(record_id,
31     embalagem_record)).execute();
31 }

```

### Código-fonte 5 – Distribuição

```

1 #![no_std]
2 #![no_main]
3
4 extern crate alloc;
5
6 use alloc::string::ToString;
7 use iroha_wasm::data_model::prelude::*;
8 use iroha_wasm::iroha_wasm;
9
10 #[iroha_wasm]
11 fn processamento_entry_point(account_id: AccountId, data:
    String, location: String, process: String) {

```

```

12 let mel_asset = Asset {
13     definition_id: <AssetDefinition as Identifiable>::
14         Id::new("mel", account_id.domain_id.clone()).
15         unwrap(),
16
17     account_id: account_id.clone(),
18 };
19
20 // Cria um registro do processo de processamento.
21 let processamento_record = ProcessamentoRecord {
22     data,
23     location,
24     process,
25 };
26
27 // Registra o dado do processamento.
28 let record_id = RecordId {
29     id: String::new(),
30     creator_id: account_id.clone(),
31 };
32
33 Instruction::Register(RegisterBox::new(record_id,
34     processamento_record)).execute();
35 }

```

Código-fonte 6 – Segmento de código extraído da estrutura de contas da *Hyperledger Iroha*

```

1 Account {
2     id: Id {
3         name: "apiary_user_0025",
4         domain_id: Id {
5             name: "apiary_domain_0014",
6         },

```

```

7     },
8     assets: {},
9     signatories: {
10        { digest: ed25519, payload: 4595DA8957C5598D4DE20
11          ...A1957A535DB1FD4B3D1607C5 },
12    },
13    ...
}

```

Código-fonte 7 – Segmento de código extraído da estrutura de registros da *Hyperledger Iroha*

```

1 Pipeline(
2     Event {
3         entity_kind: Transaction,
4         status: Validating,
5         hash: { Hash(6c7980aa09340668435a...01610564
6           f360182fdc13a99f) },
7     },
8 )
9 Pipeline(
10    Event {
11        entity_kind: Block,
12        status: Validating,
13        hash: { Hash(9e4fd6c1c04c94c8ec96db...30
14          c9850dd1fdf572ed0c0631) },
15    },
16 )
17 Pipeline(
18    Event {
19        entity_kind: Transaction,
20        status: Committed,
21        hash: { Hash(6c7980aa09340668435a7b..610564

```

```
                f360182fdc13a99fdb) },
20      },
21    )
22 Pipeline(
23     Event {
24       entity_kind: Block,
25       status: Committed,
26       hash: { Hash(9e4fd6c1c04c94c8ec96d...330
                c9850dd1fdf572ed0c063) },
27     },
28   )
```