

SISTEMA DE RASTREABILIDADE POR MEIO DA TECNOLOGIA  
BLOCKCHAIN PARA CADEIA PRODUTIVA DO LEITE

André Cardoso de Carvalho

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Claudio Miceli de Farias

Rio de Janeiro

Junho de 2024



*UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE  
JANEIRO*

**Politécnica**  
UFRJ

**Escola Politécnica**

Departamento de Engenharia de Controle e Automação

SISTEMA DE RASTREABILIDADE POR MEIO DA TECNOLOGIA  
BLOCKCHAIN PARA CADEIA PRODUTIVA DO LEITE

André Cardoso de Carvalho

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO  
DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA ESCOLA  
POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO  
GRAU DE ENGENHEIRO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO.

Aprovada por:

---

Prof. Claudio Miceli de Farias, D.Sc.

---

Prof. Leandro Santiago de Araújo, D.Sc.

---

Prof. Gustavo da Silva Viana, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2024

Cardoso de Carvalho, André

Sistema de Rastreabilidade por Meio da Tecnologia Blockchain para Cadeia Produtiva do Leite/ André Cardoso de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2024.

XV, 122 p.: il.; 29, 7cm.

Orientador: Claudio Miceli de Farias

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2024.

Referências Bibliográficas: p. 114 – 118.

1. Blockchain. 2. Industry 4.0. 3. Supply Chain.
4. Milk. I. Miceli de Farias, Claudio. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Curso de Engenharia de Controle e Automação. III. Sistema de Rastreabilidade por Meio da Tecnologia Blockchain para Cadeia Produtiva do Leite.



*“If you’re going to try, go all the way.*

*Otherwise, don’t even start.*

*If you’re going to try, go all the way.*

*This could mean losing girlfriends, wives, relatives, jobs and maybe even your mind.*

*It could mean not eating for three or four days.*

*It could mean freezing on a park bench.*

*It could mean jail.*

*It could mean derision, mockery, isolation.*

*Isolation is the gift.*

*All the others are a test of your endurance, of how much you really want to do it.*

*And, you’ll do it, despite rejection and the worst odds.*

*And it will be better than anything else you can imagine.*

*If you’re going to try, go all the way.*

*There is no other feeling like that.*

*You will be alone with the gods, and the nights will flame with fire.*

*DO IT. DO IT. DO IT. All the way*

*You will ride life straight to perfect laughter.*

*It’s the only good fight there is.”*

*- Charles Bukowski.*

# Agradecimentos

Agradeço ao André de 2010, que era um rapaz cheio de vida e vontade de conhecer diferentes pessoas e visões. Agradeço ao André de 2014, que apesar de ter contemplar um cenário desfavorável, continuou seguindo em frente rumo ao objetivo. Agradeço principalmente ao André de 2018 até 2024, que carregou um enorme peso nas costas e, mesmo extremamente cansado, não desistiu, chegando hoje ao final do trajeto e alcançando o título. Agradeço também à minha família, que sempre esteve presente e ao professor Claudio, que usa a tecnologia para desempenhar um trabalho de impacto social extremamente positivo no Brasil.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação

## SISTEMA DE RASTREABILIDADE POR MEIO DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN PARA CADEIA PRODUTIVA DO LEITE

André Cardoso de Carvalho

Junho/2024

Orientador: Claudio Miceli de Farias

Departamento: Engenharia de Controle e Automação

Este trabalho tem como objetivo expor um sistema de rastreabilidade da cadeia produtiva do leite utilizando a tecnologia blockchain, bem como os ideais da indústria 4.0. Para isso, foi criada uma prova de conceito com a linguagem de programação python na versão python3, assim como o framework Flask e as linguagens Javascript e HTML. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios uma vez que atenderam às expectativas e conseguiram alcançar os objetivos propostos, uma vez que os dados da cadeia foram emulados.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Control and Automation Engineer

## TRACEABILITY SYSTEM THROUGH BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR THE MILK PRODUCTION CHAIN

André Cardoso de Carvalho

June/2024

Advisor: Claudio Miceli de Farias

Department: Control and Automation Engineering

This work aims to expose a traceability system for the milk production chain using blockchain technology and the ideals of industry 4.0. To this end, a proof of concept was created with the python programming language in the python3 version, as well as the Flask framework and the Javascript and HTML programming languages. The results obtained were quite satisfactory since they met expectations and managed to reach the proposed objective, since the chain data was emulated.



# Sumário

|  |            |
|--|------------|
| <b>Lista de Figuras</b>  | <b>xii</b> |
| <b>Lista de Tabelas</b>  | <b>xv</b>  |
| <b>1 Introdução</b>  | <b>5</b>   |
| 1.1 Indústria 4.0 . . . . .  | 5          |
| 1.2 Contexto de Cadeias Produtivas . . . . .   | 8          |
| 1.3 Apresentação do Problema . . . . .   | 9          |
| 1.4 Proposta de Solução . . . . .  | 10         |
| 1.5 Objetivo do Trabalho . . . . .   | 12         |
| <b>2 Conceitos</b>   | <b>14</b>  |
| 2.1 Blockchain . . . . .   | 14         |
| 2.1.1 Aplicações em Cenário Nacional . . . . .   | 16         |
| 2.2 Indústria 4.0 . . . . .  | 18         |
| 2.2.1 Tecnologias da Indústria 4.0 . . . . .   | 19         |
| 2.2.2 Definição de Inteligente e Conceitualização de Indústria 4.0 . .   | 20         |
| 2.2.3 Tentativa de Descrição e Conceitualização de Indústria 4.0 por<br>Pesquisadores . . . . .                          | 22         |
| 2.2.4 Desafios da Indústria 4.0 . . . . .  | 28         |
| 2.2.5 Benefícios da Indústria 4.0 . . . . .  | 32         |
| <b>3 Trabalhos Relacionados</b>  | <b>38</b>  |
| 3.1 <i>Supply Chain Transparency Through Blockchain-based Traceability:<br/>An Overview with Demonstration</i> . . . . . | 42         |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.2      | Utilização de <i>blockchain</i> na Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Leite . . . . .  | 45        |
| 3.3      | <i>blockchain</i> Aplicado à Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Cacau da Amazônia . . . . .  | 47        |
| 3.4      | <i>Using System Dynamics to Analyze the Societal Impacts of Blockchain Technology in Milk Supply Chains</i> refer . . . . .                        | 49        |
| 3.5      | <i>Blockchain Technology in Agri-food Value Chain Management: A Synthesis of Applications, Challenges and Future Research Directions</i> . . . . . | 50        |
| 3.6      | Avaliação da Técnica de <i>blockchain</i> na Rastreabilidade na Agroindústria a Sucroenergética . . . . .  | 53        |
| 3.7      | O Uso da Tecnologia <i>blockchain of Things</i> na Cadeia Produtiva do Café . . . . .  | 53        |
| 3.8      | Possibilidades de Uso de <i>blockchain</i> em Fluxos Informacionais de Cadeias Produtivas . . . . .  | 54        |
| 3.9      | <i>Blockchain and Agricultural Supply Chains Traceability: Research Trends and Future Challenges</i> . . . . .                                     | 55        |
| 3.10     | <i>The Rise of Blockchain Technology in Agriculture and Food Supply Chains</i> . . . . .   | 58        |
| 3.11     | <i>An Agri-food Supply Chain Traceability System for China Based on RFID &amp; Blockchain Technology</i> . . . . .                                 | 59        |
| <b>4</b> | <b>Proposta</b>  | <b>61</b> |
| 4.1      | Cadeia Produtiva do Leite . . . . .  | 61        |
| 4.1.1    | Ordenha . . . . .  | 61        |
| 4.1.2    | Transporte . . . . .   | 62        |
| 4.1.3    | Fábrica . . . . .  | 62        |
| 4.1.4    | Transferência para Caixa de Leite . . . . .  | 63        |
| 4.1.5    | Logística . . . . .  | 63        |
| 4.2      | Modelo . . . . .   | 64        |
| 4.2.1    | Ordenha . . . . .  | 64        |
| 4.2.2    | Transporte . . . . .   | 66        |
| 4.2.3    | Fábrica . . . . .  | 67        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.2.4    | Transferência para Caixa de Leite . . . . . | 67         |
| 4.2.5    | Logística . . . . .                         | 68         |
| <b>5</b> | <b>Prova de Conceito</b>                    | <b>71</b>  |
| 5.1      | Dados Emulados . . . . .                    | 72         |
| 5.1.1    | Ordenha . . . . .                           | 72         |
| 5.1.2    | Transporte . . . . .                        | 73         |
| 5.1.3    | Fábrica . . . . .                           | 74         |
| 5.1.4    | Transferência para Caixa de Leite . . . . . | 76         |
| 5.1.5    | Logística Parte I . . . . .                 | 76         |
| 5.1.6    | Logística Parte II . . . . .                | 77         |
| 5.2      | Implementação(Descrevendo Código) . . . . . | 78         |
| 5.2.1    | Módulos . . . . .                           | 78         |
| 5.2.2    | Métodos . . . . .                           | 80         |
| 5.2.3    | Flask e suas Rotas . . . . .                | 91         |
| 5.2.4    | Arquivos HTML's . . . . .                   | 106        |
| 5.3      | Resultados . . . . .                        | 108        |
| <b>6</b> | <b>Conclusões</b>                           | <b>115</b> |
| 6.1      | Trabalhos Futuros . . . . .                 | 116        |

# Lista de Figuras

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Uma seção simples de <i>blockchain</i> . . . . .   | 15 |
| 2.2  | Uma representação gráfica do <i>blockchain</i> . . . . .   | 16 |
| 2.3  | Mudança do fluxo de informação do piloto no processo de entrega<br>com e sem <i>blockchain</i> . . . . .   | 17 |
| 3.1  | Publicações sobre <i>blockchain</i> por ano. . . . .   | 38 |
| 3.2  | Principais domínios e subdomínios propostos nos últimos anos no Brasil.  | 41 |
| 4.1  | Esquemático das etapas da cadeia produtiva do leite com as variáveis<br>evidenciadas. . . . .  | 64 |
| 5.1  | Trecho de código referente à parte de módulos. . . . .   | 78 |
| 5.2  | Trecho de código referente ao método <code>init</code> . . . . .   | 80 |
| 5.3  | Trecho de código referente ao método <code>init</code> . . . . .   | 81 |
| 5.4  | Trecho de código referente ao método <code>new_block</code> . . . . .  | 81 |
| 5.5  | Trecho de código referente aos métodos <code>last_block</code> , <code>penultimate_block</code><br>e <code>get_equivalent_block</code> . . . . . | 82 |
| 5.6  | Trecho de código referente ao método <code>hash</code> . . . . .   | 83 |
| 5.7  | Trecho de código referente ao método <code>proof_of_work</code> . . . . .  | 83 |
| 5.8  | Trecho de código referente ao método <code>valid_proof</code> . . . . .  | 84 |
| 5.9  | Trecho de código referente ao método <code>valid_chain</code> . . . . .  | 85 |
| 5.10 | Trecho de código referente ao método <code>resolve_conflicts</code> . . . . .  | 86 |
| 5.11 | Trecho de código referente ao método <code>numero_de_quatro_digitos</code> . . . . .   | 87 |
| 5.12 | Trecho de código referente ao método <code>gen_timestamp</code> . . . . .  | 87 |
| 5.13 | Trecho de código referente ao método <code>calculo_v_o</code> . . . . .  | 88 |
| 5.14 | Trecho de código referente ao método <code>random_signal</code> . . . . .  | 88 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 5.15 | Trecho de código referente ao método <code>calculo_t_leite</code> . . . . .                                 | 89  |
| 5.16 | Trecho de código referente ao método <code>sum_timestamp</code> . . . . .                                   | 89  |
| 5.17 | Trecho de código referente ao método <code>caixas_de_um_litro</code> . . . . .                              | 90  |
| 5.18 | Trecho de código referente ao início da implementação relativa ao Flask. . . . .                            | 91  |
| 5.19 | Trecho de código relativo ao início do desenvolvimento da rota <code>\mine</code> . . . . .                 | 92  |
| 5.20 | Primeira parte do trecho de código relativo à ordenha dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .           | 93  |
| 5.21 | Segunda parte do trecho de código relativo à ordenha dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .            | 93  |
| 5.22 | Primeira parte do trecho de código relativo ao transporte dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .       | 94  |
| 5.23 | Segunda parte do trecho de código relativo ao transporte dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .        | 95  |
| 5.24 | Primeira parte do trecho de código relativo à fábrica dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .           | 96  |
| 5.25 | Segunda parte do trecho de código relativo à fábrica dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .            | 97  |
| 5.26 | Terceira parte do trecho de código relativo à fábrica dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .           | 98  |
| 5.27 | Trecho de código relativo à transferência para a caixa de leite dentro da rota <code>\mine</code> . . . . . | 99  |
| 5.28 | Trecho de código relativo à primeira parte da logística dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .         | 100 |
| 5.29 | Trecho de código relativo à segunda parte da logística dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .          | 102 |
| 5.30 | Trecho de código relativo à confecção do bloco dentro da rota <code>\mine</code> . . . . .                  | 103 |
| 5.31 | Trecho de código relativo à rota <code>\chain</code> . . . . .  | 104 |
| 5.32 | Trecho de código relativo à rota <code>\nodes\resolve</code> . . . . .                                      | 104 |
| 5.33 | Trecho de código referente à parte final desenvolvida. . . . .  | 105 |
| 5.34 | Código relativo ao arquivo <code>chain.html</code> . . . . .  | 106 |
| 5.35 | Código relativo ao arquivo <code>mine.html</code> . . . . .   | 107 |
| 5.36 | Parte superior do resultado da página web referente a etapa de ordenha. . . . .                             | 108 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.37 | Parte inferior do resultado da página web referente a etapa de ordenha.  | 109 |
| 5.38 | Resultado da página web referente a etapa de transporte. . . . .   | 109 |
| 5.39 | Resultado da página web referente a etapa de fábrica. . . . .  | 110 |
| 5.40 | Parte superior do resultado da página web referente à etapa de trans-<br>ferência para caixa de leite. . . . . | 110 |
| 5.41 | Parte inferior do resultado da página web referente à etapa de trans-<br>ferência para caixa de leite. . . . . | 111 |
| 5.42 | Resultado da página web referente à primeira parte da etapa de logística.                                      | 112 |
| 5.43 | Resultado da página web referente à segunda parte da etapa de logística.                                       | 113 |
| 5.44 | Parte superior do resultado da página web referente a etapa de ordenha.  | 113 |
| 5.45 | Parte inferior do resultado da página web referente a etapa de ordenha.  | 114 |

# Lista de Tabelas

|      |  |    |
|------|--|----|
| I    | Autores e definições de indústria 4.0 (Parte 1). . . . .               | 26 |
| II   | Autores e definições de indústria 4.0 (Parte 2). . . . .               | 27 |
| III  | Desafios e Questões da Implementação da Indústria 4.0 (parte 1). . .   | 29 |
| IV   | Desafios e Questões da Implementação da Indústria 4.0 (parte 2). . .   | 30 |
| V    | Desafios e Questões da Implementação da Indústria 4.0 (parte 3). . .   | 31 |
| VI   | Benefícios da Implementação da Indústria 4.0. . . . .                  | 32 |
| VII  | Benefícios da Implementação da Indústria 4.0 (parte 2). . . . .        | 33 |
| VIII | Benefícios da Implementação da Indústria 4.0 (parte 3). . . . .        | 34 |
| IX   | Benefícios da Implementação da Indústria 4.0 (parte 4). . . . .        | 35 |
| X    | Benefícios da Implementação da Indústria 4.0 (parte 5). . . . .        | 36 |
| I    | Quantidades e porcentagem de temas de artigos relativos à plataformas. | 39 |
| II   | Quantidades e porcentagem de temas de artigos relativos à aplicações.  | 40 |

# Glossário

1. **Ad-hoc** - Feito ou criado conforme necessário, sem planejamento prévio.
2. **Android Studio** - Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) para desenvolver aplicativos Android.
3. **Análise Sistemática de Redes de Literatura (SLNA)** - Método para revisão e análise de publicações científicas.
4. **Arquitetura orientada a serviços (SOA)** - Abordagem para organizar e implementar serviços que podem ser reutilizados.
5. **Assessment** - Avaliação sistemática de alguma situação ou condição.
6. **Big Data** - Conjunto de dados extremamente grandes que podem ser analisados computacionalmente para revelar padrões, tendências e associações, especialmente relacionados ao comportamento humano e interações.
7. **Blockchain** - Tecnologia de registro distribuído que permite a criação de registros permanentes e à prova de adulteração.
8. **Cadeia Fria** - Logística de armazenamento e distribuição que requer temperaturas controladas.
9. **Computação em nuvem** - Modelo que permite o acesso sob demanda a recursos de computação compartilhados.
10. **Computação Ubíqua** - Conceito de computação integrada na vida cotidiana, em qualquer hora e lugar.
11. **Contratos Inteligentes** - Programas autoexecutáveis que executam termos de um contrato.
12. **Ethereum** - Plataforma descentralizada que executa contratos inteligentes.
13. **Ethereum public blockchain** - Versão pública e descentralizada da plataforma Ethereum.



14. **Framework** - Estrutura de suporte para o desenvolvimento de software.
15. **Global Trade Identification Numbers (GTIN)** - Números usados para identificar produtos em transações comerciais.
16. **GPS** - Sistema de Posicionamento Global.
17. **Hash** - Valor gerado a partir de um algoritmo de hash, usado para verificar a integridade de dados.
18. **Hyperledger** - Projeto colaborativo de código aberto que visa a melhoria da tecnologia blockchain.
19. **IHM (Interface Homem Máquina)** - Interface que permite a interação entre humanos e máquinas.
20. **Inter Planetary File System (IPFS)** - Sistema de arquivos peer-to-peer descentralizado.
21. **Internet das Coisas (Internet of Things - IoT)** - Rede de dispositivos físicos que estão incorporados com eletrônica, software, sensores e conexões de rede, permitindo a coleta e troca de dados.
22. **Internet de serviços (Internet of Services - IoS)** - Um modelo de Internet que integra a funcionalidade de serviços em rede, possibilitando interações automatizadas e distribuídas.
23. **Iodo Pre-dipping** - Técnica de higienização de tetos de vacas antes da ordenha.
24. **Leite UHT** - Leite longa vida, tratado termicamente para eliminar microorganismos.
25. **Manufatura em Nuvem** - Modelo de manufatura onde a infraestrutura e os recursos necessários são fornecidos sob demanda através da internet.
26. **Microsoft Azure Blockchain Workbench** - Plataforma da Microsoft para criar e gerenciar redes blockchain.

27. **Mineiradores (Miners)** - Participantes em redes blockchain que validam e processam transações.
28. **MySQL** - Sistema de gerenciamento de banco de dados relacional.
29. **Nonce** - Número usado apenas uma vez em um contexto de segurança, como para prevenir a reutilização de tokens.
30. **PME** - Pequenas e Médias Empresas.
31. **Página Web** - Documento ou recurso de informação disponível na internet.
32. **PoC** - Proof of Concept, ou Prova de Conceito.
33. **Produção dinamicamente programável** - Processo de manufatura que pode ser reconfigurado rapidamente para atender a diferentes demandas de produção.
34. **Python** - Linguagem de programação de alto nível conhecida por sua simplicidade e clareza.
35. **Realidade Aumentada** - Tecnologia que superpõe elementos virtuais (como imagens, sons, etc.) ao ambiente físico, tipicamente através de um dispositivo tecnológico como um smartphone ou óculos especializados.
36. **Redes de Névoa (Fog)** - Infraestruturas distribuídas que suportam aplicações IoT e edge computing.
37. **RFID** - Identificação por Radiofrequência.
38. **Robótica** - Campo da ciência e engenharia que envolve o design, construção, operação e uso de robôs.
39. **Roadmap** - Plano estratégico de alto nível que define metas e objetivos futuros.
40. **SHA 256** - Algoritmo de hash criptográfico.
41. **Sistema Ciber-Físico (Cyber-Physical Systems - CPS)** - Um sistema composto por elementos computacionais colaborativos, com o intuito de controlar entidades físicas.

- 42. **Solidity** - Linguagem de programação usada para escrever contratos inteligentes na plataforma Ethereum.
- 43. **Software** - Conjunto de programas de computador e dados que fornecem instruções para o funcionamento de um computador.
- 44. **Supply Chain** - Cadeia de suprimentos.
- 45. **Supply Chain** - Rede de organizações interligadas envolvidas no fornecimento de produtos ou serviços.
- 46. **Tanque Isotérmico** - Tanque de armazenamento que mantém a temperatura constante.
- 47. **Tanque de Resfriamento por Expansão Direta** - Sistema de resfriamento para leite que utiliza expansão direta de refrigerante.
- 48. **TI** - Tecnologia da Informação.
- 49. **Técnicas criptográficas/criptografia** - Área de estudo e prática de técnicas para comunicação segura em presença de terceiros indesejados.
- 50. **Timestamp** - Marcação temporal que indica o momento exato em que um evento ocorreu.
- 51. **Web3py** - Biblioteca Python para interagir com a blockchain Ethereum.

# Capítulo 1

## Introdução

O cenário industrial global vem passando por diversas mudanças nos últimos anos como resultado de sucessivas inovações e desenvolvimentos disruptivos, principalmente no que diz respeito à tecnologia digital e à manufatura. Com isso, emergiu o conceito de indústria 4.0, que já apresenta diversas características próprias. O termo indústria 4.0 apareceu inicialmente em um artigo publicado em novembro de 2011 pelo governo alemão, como resultado de uma iniciativa que dizia respeito à estratégia de alta tecnologia para 2020 e tem esse nome porque faz referência à quarta revolução industrial. Ela pode ser comparada às três primeiras revoluções industriais que ocorreram no último século, uma vez que traz consigo um grande aumento de produtividade e uma grande mudança de paradigma. A primeira revolução industrial melhorou a produtividade e a eficiência através do uso de energia a vapor, a segunda permitiu a produção em massa através do uso de eletricidade, enquanto a terceira revolução industrial foi caracterizada pela automação da produção usando eletrônica e tecnologia da informação (TI). A Indústria 4.0 tem sido amplamente discutida e pesquisada, tendo grande influência no setor industrial, pois introduz avanços relevantes relacionados às fábricas inteligentes, de acordo com PEREIRA e ROMERO (2017).

### 1.1 Indústria 4.0

O conceito de indústria 4.0 ainda é divergente entre pesquisadores e empresas, mas, segundo PEREIRA e ROMERO (2017), alguns aspectos são consenso no que

diz respeito à sua visão de manufatura: fábricas inteligentes, produtos inteligentes, novos modelos de negócios e nova experiência dos clientes. De acordo com os pesquisadores, apesar de ainda não ter um significado preciso, o termo “inteligente” está se tornando central no contexto de Indústria 4.0 e pode ser associado a dispositivos independentes e autônomos, capazes de se comunicar em tempo real e cooperar em um ambiente independente com outros dispositivos inteligentes, tomando decisões e realizando ações baseadas nas informações obtidas. Segundo ZHOU *et al.* (2015) e PEREIRA e ROMERO (2017), pode-se afirmar que a concepção de indústria 4.0 está baseada na junção do físico com o digital, baseada na integração de informação, comunicação e tecnologia industrial, buscando cada vez mais torná-la guiada por informações, personalizada e verde. Em PEREIRA e ROMERO (2017), afirma-se que a indústria 4.0 é principalmente dependente da construção de um Sistema Ciber-Físico (*Cyber-Physical Systems - CPS*) e abrange um conjunto de desenvolvimentos industriais relacionados a *Internet das Coisas (IoT)*, *Internet de Serviços (IoS)*, Robótica, *Big Data*, Manufatura em Nuvem e Realidade Aumentada (RA). De acordo com TORTORELLA *et al.* (2023), estudos sugeriram a existência de seis princípios que orientam as decisões relacionadas à implementação da Indústria 4.0: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviços e modularidade. Em PEREIRA e ROMERO (2017), é exposto que esta abordagem de manufatura que pretende criar processos mais inteligentes é caracterizada por pequenas redes de produção descentralizadas e digitalizadas, que atuam sem intervenção humana e controlam autonomamente suas operações dependendo das mudanças e requisitos de seu ambiente.

Conforme KHAN *et al.* (2023), o objetivo da Indústria 4.0 é construir um modelo de produção altamente flexível de produtos e serviços personalizados e digitais, com interações em tempo real entre pessoas, produtos e dispositivos durante o processo de produção. Por exemplo, uma fábrica que aceita pedidos de consumidores, produz diretamente e envia o produto, dispensará canais separados de venda e circulação, o que trará um forte impacto no modelo tradicional de vendas de *e-commerce*. Para TORTORELLA *et al.* (2023), a versatilidade e a difusão da Indústria 4.0 também são características proeminentes que podem ser evidenciadas por sua implementação em vários setores da indústria, como automotivo, saúde, financeiro e alimentação.

Em conformidade com MOHAMED (2018), uma das maiores disrupções da Indústria 4.0 é o valor e a importância cada vez maiores dos dados, que, nesse novo contexto, podem ser vistos como uma matéria-prima preciosa. Por isso, será necessário que as empresas de manufatura tradicionais se adaptem para poder gerenciar grandes quantidades de dados e informações, o que representa um dos seus maiores desafios. Já segundo TORTORELLA *et al.* (2023), as empresas enfrentarão outras adaptações: espera-se que os avanços tecnológicos impliquem em mudanças organizacionais que aumentem a relevância do envolvimento dos funcionários. Além do potencial aumento do desemprego para mão-de-obra pouco especializada, as novas tecnologias e as inovações inerentes aos negócios devem melhorar e enriquecer o conteúdo e as condições de trabalho. Nesse sentido, acredita-se que as oportunidades de trabalho para mão de obra altamente qualificada aumentarão e atribuirão uma nova centralidade aos trabalhadores dentro das empresas.

Em MOHAMED (2018) é exposto que, ao se integrar produtos inteligentes com produção, redes e logística inteligente, somados à Internet das Coisas, obtém-se uma relevante transformação das cadeias de valor atuais, bem como novos e inovadores modelos de negócios, o que faz da fábrica inteligente o elemento chave das futuras infraestruturas. A partir delas, vários benefícios e lucros se mostram viáveis. A prototipagem virtual e aumentada, por exemplo, fornece uma compreensão completa dos recursos e benefícios do produto, facilitando a exploração interativa de todas as funcionalidades de produtos entre todas as partes interessadas. Outro exemplo é o emprego de tecnologia de produção dinamicamente programável, que em combinação com a maior flexibilidade da própria máquina, tem múltiplos benefícios, entre os quais personalização individualizada, mais alocação dinâmica de recursos e capacidade, tempos de troca mais curtos e complexidade de produção reduzida com menos restrições. Isso permite processos de produção mais rápidos, baratos, fáceis e diversificados. Além disso, ainda em MOHAMED (2018) também é proposto que a Indústria 4.0 oferece outros benefícios, como a redução dos custos de mão de obra, a simplificação dos processos de negócios e a redução de imprecisões de estoque. Adicionalmente, traz mais transparência nos processos logísticos: custo logístico, prazo de entrega, atraso no transporte, alterações na quantidade de embarques atrasados, redução de estoque, perda ou dano, frequência de atendimento, precisão da previsão,

confiabilidade, flexibilidade e volume de transporte.

Dessa maneira, é possível afirmar que a indústria 4.0 representa um fenômeno com aspectos próprios de manufatura, ideias de conceito construídas e se apoia em tecnologias e princípios específicos, com características e objetivos específicos. Ela já apresenta desafios mapeados tanto para sua implementação, quanto no que diz respeito às consequências da mudança de paradigma resultante de sua aplicação. Sua adoção na indústria apresenta diversos benefícios que agregam enorme valor e, portanto, representam um grande aumento de receita para as companhias, estimulando a economia. Sendo assim, para que as indústrias se mantenham competitivas, já existe um grande movimento para a adoção dela, isto é, a indústria 4.0 já é realidade.

## 1.2 Contexto de Cadeias Produtivas

Utilizando como referência ADAMA *et al.* (2024), é possível afirmar que as transformações que são originadas da indústria 4.0, afetam diretamente a cadeia produtiva em todas suas etapas, sendo capaz de transformá-la em cada uma delas. Dependendo do produto, a cadeia de valor tem mais ou menos etapas e seus níveis de complexidade são maiores ou menores. Muitas das vezes, essas etapas são executadas por diferentes partes, isto é, diferentes empresas que agem de forma parceira na produção. Dessa maneira, da matéria-prima até o produto final, existem diversos responsáveis, que dependem de seus parceiros de etapa anterior para que sejam garantidas qualidade e quantidade, respeitando prazos pré-acordados. Segundo GRIF-FITHS (2010) o processo de produção do leite, por exemplo, se inicia na ordenha por parte de pequenos produtores rurais, que são responsáveis por armazená-lo até que seja feito o transporte por meio de caminhões providos de tanques isotérmicos. Uma vez transportado até a fábrica, o leite passa pelos processos de pasteurização e esterilização. Em seguida, é separado em lotes e é colocado em caixas específicas de um litro, que tem camadas de papel cartão, alumínio e polietileno. O próximo passo é agrupar as caixas pequenas em conjuntos em caixas de papelão e depois, agrupar essas caixas de papelão em *pallets*. Os *pallets* são distribuídos em caminhões e transportados até os mercados, onde são estocados e as caixas de um litro são colocadas

para venda para que os consumidores finais possam adquiri-las. Este é um modelo da cadeia produtiva simplificado que contém as etapas e processos chave, essenciais para a produção do leite.

### 1.3 Apresentação do Problema

Um dos problemas enfrentados no contexto de cadeias produtivas é a falta de acompanhamento em tempo real das etapas de produção pelos integrantes de sua cadeia, isto é, a troca de dados entre os integrantes da cadeia produtiva, no que diz respeito aos resultados em tempo real da produção, muitas vezes não é clara, auditável e compartilhada. Isto pode gerar atrasos nas entregas dos produtos, perdas de qualidade, divergência em quantidades acordadas ou simplesmente impossibilidade de entrega do produto final no prazo acordado. Além disso, implementar um sistema de rastreabilidade em qualquer tipo de cadeia produtiva, garante a origem, qualidade e o tipo de produto produzido. Um exemplo é apresentado em TEJOS *et al.* (2022), onde, com a necessidade de comprovação de que produtos comercializados tenham realmente a origem amazônica, é proposta uma solução que torna a cadeia produtiva do cacau rastreável, fazendo uso de tecnologias como *Blockchain* e IoT. Dessa forma, algumas abordagens para o problema da falta de rastreabilidade foram propostas. Uma delas se assemelha muito ao tema do trabalho aqui proposto é o trabalho MENDONÇA *et al.* (2020), que propõe uma solução de *blockchain* para a cadeia produtiva do leite. Ainda assim, a solução não foi suficiente para resolver o problema, uma vez que não contempla a disponibilização dos dados em tempo real e tem uma visão e uma abordagem pouco aprofundada e somente a nível de *software*.

Muitos são os exemplos onde a falta de garantia da qualidade e origem do alimento e a falta de rastreamento e acompanhamento da cadeia produtiva geraram prejuízos à sociedade e levaram pessoas à morte. Em concordância com CARNERO *et al.* (2011), no verão de 1981, um surto repentino de sintomas parecidos com os da gripe, incluindo náuseas e vômito, nos subúrbios da classe trabalhadora próximos à Madri, na Espanha, deixou aproximadamente 400 mortos e 20000 contaminados. Todos eles demonstraram sintomas dos efeitos do que parecia ser envenenamento tóxico. Foi descoberto que havia anilina, um composto químico frequentemente



usado para fazer corantes, plásticos e outros materiais industriais, ilegalmente misturado em um lote de óleo de colza e vendido como azeite para comerciantes de rua. A anilina pura é altamente venenosa. Esse caso ficou conhecido como “Síndrome Del Aceite Tóxico” e foi um dos episódios de doenças transmitidas por alimentos mais mortais da história moderna. Já segundo BARROS *et al.* (2019), outro caso que gerou bastante repercussão aconteceu no Brasil. Trata-se do caso da carne vencida, com adição de produtos em desacordo com normas técnicas em produtos de origem animal, ocorrido em 2017 e representou a maior operação da Polícia Federal no país, sendo batizada de carne fraca. O caso envolveu grandes frigoríficos, como os grupos BRF Brasil S/A e JBS S/A, assim como o próprio ministério da agricultura. A Polícia Federal diz que grandes frigoríficos de todo o Brasil pagavam propina para vender produtos vencidos e até carne moída com papelão. A partir de ZENG *et al.* (2018), apresenta-se um terceiro caso de grande impacto, que aconteceu em 2008 na China e se relaciona com o estudo de caso abordado nesse texto. Dezesesseis bebês na província chinesa de Gansu foram diagnosticados com cálculos renais. Todos eles foram alimentados com leite em pó, que mais tarde foi descoberto ser adulterado com um composto industrial tóxico chamado melamina. 290.000 consumidores em todo o mundo foram afetados, mais de 50.000 crianças hospitalizadas e seis bebês morreram. O *Sanlu Group*, um dos maiores produtores de lácteos da China, foi identificado como o principal responsável. Dessa forma, a falta de rastreabilidade pode gerar vários tipos de problemas como a contaminação de alimentos, a não garantia da origem de certos produtos e a divergência entre partes da cadeia produtiva.

## 1.4 Proposta de Solução

Com o desenvolvimento tecnológico que vem acontecendo nos últimos anos, algumas soluções mostraram que poderiam ser aplicadas para resolver estas questões. De acordo com ADAMA *et al.* (2024), a tecnologia *Blockchain* facilita transações e compartilhamento de dados seguros, transparentes e invioláveis entre parceiros da cadeia de suprimentos, reduzindo os riscos de fraude e melhorando a confiança. Dessa maneira, ela pode ser utilizada como ferramenta de rastreabilidade, possibilitando uma visão mais clara do andamento da produção em tempo real na cadeia.

Além disso, por ser uma tecnologia que tem como pilar a descentralização, é ideal para que se evite manipulação de dados. Conforme NAKAMOTO (2008), o *Blockchain* é um livro-razão de registros digital, compartilhado e imutável, que facilita o processo de gravação de transações e rastreamento de ativos em uma rede de negócios. Na prática, consiste em um conjunto ou uma cadeia de pacotes de dados (blocos) interligados entre si, onde um bloco contém múltiplas transações. A cadeia de blocos é estendida por cada bloco adicional e, portanto, representa um registro completo do histórico de transações. Os dados do *blockchain* não permanecem em um só lugar, ficam distribuídos entre os computadores, isto é, nós participantes da rede. Os blocos podem ser validados pela rede usando algoritmos criptográficos. Além das transações, cada bloco contém um *timestamp*, o valor de *hash* do bloco anterior e um *nonce*, que é um número aleatório para verificar o *hash*. Este conceito garante a integridade de toda a *blockchain* até o primeiro bloco (bloco de gênese). Valores de *hash* são únicos e a fraude pode ser efetivamente evitada, pois alterações de um bloco na cadeia mudariam imediatamente o respectivo valor de *hash*. Se a maioria dos nós na rede concordam, por um mecanismo de consenso, sobre a validade de transações em um bloco e a validade do bloco em si, o bloco pode ser adicionado à cadeia. Esse mecanismo de consenso é o processo em que a maioria (ou em alguns casos todos) dos nós validadores da rede chegam a um acordo sobre o estado do livro-razão. Esse mecanismo de consenso é um grupo de regras e procedimentos que permite manter coerente um conjunto de fatos entre múltiplos nós participantes. Portanto, novas transações não são adicionadas automaticamente. Em vez disso, o processo de consenso garante que essas transações sejam armazenadas em um bloco por um determinado tempo (por exemplo, 10 minutos no *blockchain* do Bitcoin) antes de ser transferido ao livro-razão. Depois, as informações no *blockchain* não podem mais ser alteradas. No caso do Bitcoin, os blocos são criados pelos chamados mineradores. Usando criptografia, pessoas de todo o mundo podem confiar umas nas outras e transferir diferentes tipos de ativos, utilizando a arquitetura de redes *peer-to-peer*, por meio da Internet. As aplicações do *blockchain* contemplam vários setores: moedas digitais, educação, contratos inteligentes, sistemas de pagamentos, armazenamento em nuvem, *supply chain* atualizada e saúde. Dessa forma, utilizando esta tecnologia é possível rastrear as várias etapas de uma cadeia produtiva.

## 1.5 Objetivo do Trabalho

Neste trabalho, é proposta uma *blockchain* que registra todas as etapas de produção em tempo real, com o intuito de tornar claro para todas as partes do processo produtivo como está a dinâmica de produção. O objetivo é rastrear todos os produtos e processos da cadeia produtiva, que neste trabalho terá como estudo de caso a produção do leite UHT em caixas de 1 litro. O processo de produção do leite tem as seguintes etapas: ordenha, transporte, processos da fábrica, transferência para caixa de leite, logística I e logística II (transporte para mercados). É proposta uma *Blockchain* que rastreia dados em todas as etapas de produção no que diz respeito a processos e produtos. Em relação ao produto, busca-se rastrear o volume e a qualidade do leite por meio de testes e análises de qualidade, registros de temperatura e registros de intervalos de tempo. Em relação aos processos, são registrados os processos de pasteurização, esterilização, divisão em caixas, conjuntos de caixas, *pallets*, caminhões e distribuição em mercados. Para isso, foi desenvolvida uma *Blockchain* com os valores referentes aos parâmetros provenientes da cadeia produtiva. O sistema pode ser minerado e acessado por página *web*.

Por se tratar de um trabalho de conclusão de curso com pouquíssimos recursos, além do fato de não haver acesso a uma cadeia de valor real de produção de leite, todos os dados que seriam sensoriados na prática, foram emulados. A cadeia produtiva do leite foi escolhida como caso de estudo deste trabalho, uma vez que ela tem etapas suficientes para evidenciar o que está sendo proposto, no que diz respeito a quantidade e complexidade. As etapas da cadeia de produção do leite são suficientemente complexas e requerem medições que podem dar ao trabalho dados suficientes para mostrar a eficácia do que está sendo proposto, segundo VARAVALLO *et al.* (2022).

Este trabalho está dividido na forma que se apresenta a seguir. No Capítulo 2 são abordados os principais conceitos que suportam a estrutura projeto, explicitando, inicialmente, os aspectos introdutórios do *blockchain*, bem como explicando como ele funciona na prática, para em seguida apresentar os aspectos da indústria 4.0, em que ela consiste, o que ela representa no cenário fabril atual e como é vista para

o futuro. No Capítulo 3 são apresentados onze trabalhos relacionados, correlatos com o presente estudo, onde em cada um deles foi possível extrair informações de referência para estruturar a proposta apresentada neste trabalho. No Capítulo 4 é apresentada a proposta do trabalho, onde os detalhes sobre a cadeia produtiva do leite são aprofundados e o modelo proposto é apresentado, de forma a atender as demandas para que o problema seja solucionado. O Capítulo 5 traz os detalhes da prova de conceito e seus resultados explicitados, buscando demonstrar a solução em sua essência e quais foram as formas aplicadas para que se pudesse simular o que foi proposto. Por fim, no Capítulo 6, o de conclusão, foram expostos os resultados e considerações finais do projeto.

# Capítulo 2

## Conceitos

### 2.1 Blockchain

Em setembro de 2008, Satoshi Nakamoto introduziu duas ideias influentes em seu artigo “*Bitcoin: Um Sistema de Caixa Eletrônico Peer-to-Peer*” NAKAMOTO (2008). A primeira era o “*Bitcoin*”: um sistema descentralizado, com arquitetura de rede *peer-to-peer*, que representa uma moeda online capaz de manter o valor sem qualquer apoio de uma autoridade central. Após conquistar crescente atenção dos primeiros usuários e legisladores, o *Bitcoin* tornou-se reconhecido como um método barato, rápido e confiável de mover valor econômico através da *internet* de forma descentralizada. Com mais de 4 milhões de usuários e mais de 125.000 transações por dia, se transformou também em uma das mais poderosas redes de computação existentes.

A segunda ideia, de igual importância, consiste no “*blockchain*”, um banco de dados cronológico público ou privado de transações registradas por uma rede de agentes. Transações individuais contêm detalhes dos envios, identificando emissores e receptores, e são agrupadas em conjuntos de dados referidos como “blocos”, conforme ilustrado na Figura 2.1.

Segundo CASTELLÓ FERRER (2019), cada bloco contém informações sobre um certo número de transações, uma referência ao bloco anterior na *blockchain* e uma resposta a um desafio matemático complexo, conhecido como “*proof of work*”. O conceito de “*proof of work*” é utilizado para validar os dados associados a esse bloco

específico, bem como para tornar a criação de blocos computacionalmente difícil. Evita-se, assim, que invasores alterem o *blockchain* a seu favor. Ele se baseia em técnicas criptográficas, como o SHA256, no caso do *Bitcoin*, que produzem valores numéricos imprevisíveis, também conhecidos como *hashes*, encapsulando todas as transações dentro de um bloco em uma impressão digital. Quaisquer diferenças nos dados de entrada, como ordem de transação, quantidades e destinatários, produzirão diferenças nos dados de saída, os *hashes* de *proof of work*, gerando uma impressão digital diferente.

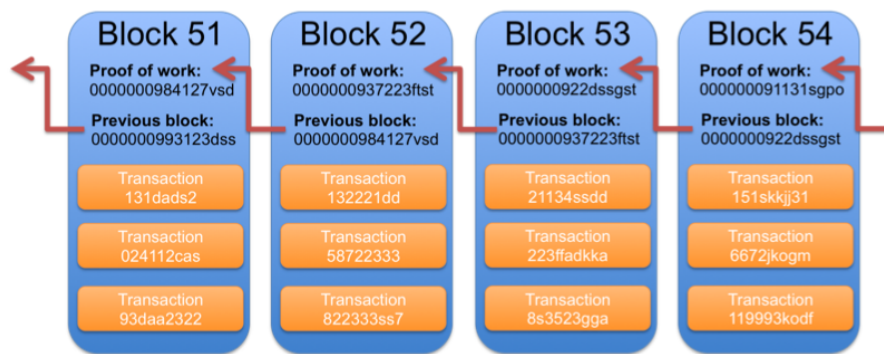


Figura 2.1: Uma seção simples de *blockchain*.

Fonte: CASTELLÓ FERRER (2019).

Ainda em concordância com CASTELLÓ FERRER (2019), depois de garantir que todas as novas transações a serem incluídas no bloco são válidas e não invalidam as transações anteriores, por exemplo, por gasto duplo (*double-spending*), um novo bloco é adicionado ao final do *blockchain* por um agente da rede, doravante denominado um mineirador (*miner*). Nesse momento, as informações contidas no bloco não podem mais ser deletadas ou modificadas, ficando disponíveis para serem certificadas por todos na rede. Uma cópia do *blockchain*, semelhante à ilustrada na Figura 2.2, é armazenada por cada agente e é sincronizada periodicamente utilizando a arquitetura de computadores *peer-to-peer*, para garantir que todos compartilhem o mesmo banco de dados público. Com essas propriedades, o *blockchain* se torna um registro permanente que todos os agentes da rede podem usar para coordenar uma ação, verificar um evento ou chegar a um acordo de forma auditável sem a necessidade de uma autoridade centralizada. No entanto, devido à sua natureza descentralizada, o *blockchain* pode produzir blocos órfãos, representados pelos blocos cinzas

na Figura 2.2, que ocorrem naturalmente quando dois mineradores produzem um bloco ao mesmo tempo. Inicialmente aceitos por uma parte da rede, esses blocos são posteriormente rejeitados quando a prova de um *blockchain* mais longo é recebida.

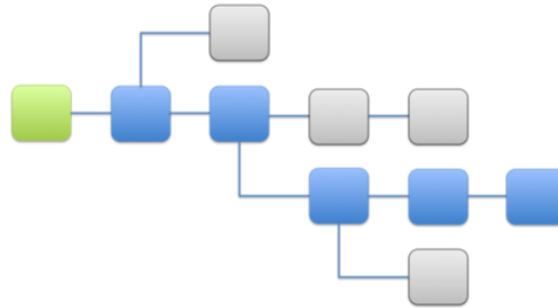


Figura 2.2: Uma representação gráfica do *blockchain*.

Fonte: CASTELLÓ FERRER (2019).

A tecnologia *Blockchain* demonstra que, combinando redes *peer-to-peer* com algoritmos criptográficos, um grupo de agentes pode chegar a um acordo sobre um determinado estado situacional e registrar esse acordo de maneira segura e verificável, sem a necessidade de uma autoridade controladora. Devido à sua natureza descentralizada e aos principais princípios subjacentes, como robustez e tolerância a falhas, a tecnologia *blockchain* possui grande potencial em combinação com campos emergentes, dentre eles transporte automatizado, sistemas logísticos e de armazenamento ou até mesmo computação em nuvem.

### 2.1.1 Aplicações em Cenário Nacional

De acordo com AQUINO (2019), no que diz respeito ao cenário nacional, em 2018 houve uma experimentação da aplicabilidade de *blockchain* da indústria no “*Logistics Tech Challenge*”, organizado por *Intelipost*, *Oracle* e a *ABRALOG*. Se tratou de uma maratona de programação com o intuito de criar uma solução de *blockchain* para mudar o funcionamento de rastreamento de cargas da qual participaram as varejistas Lojas Renner, Centauro, Total Express do Grupo Abril, entre outras. Os participantes simularam e registraram dados na *blockchain* desde a emissão da Nota Fiscal até a confirmação de entrega, incluindo um cenário com problema de roubo ao longo do percurso. Na Figura 2.3 é possível observar a mudança do fluxo de

informação do piloto no processo de entrega com e sem *blockchain*, assim como a interação entre os varejistas, os elos logísticos e os parceiros de serviços tecnológicos.

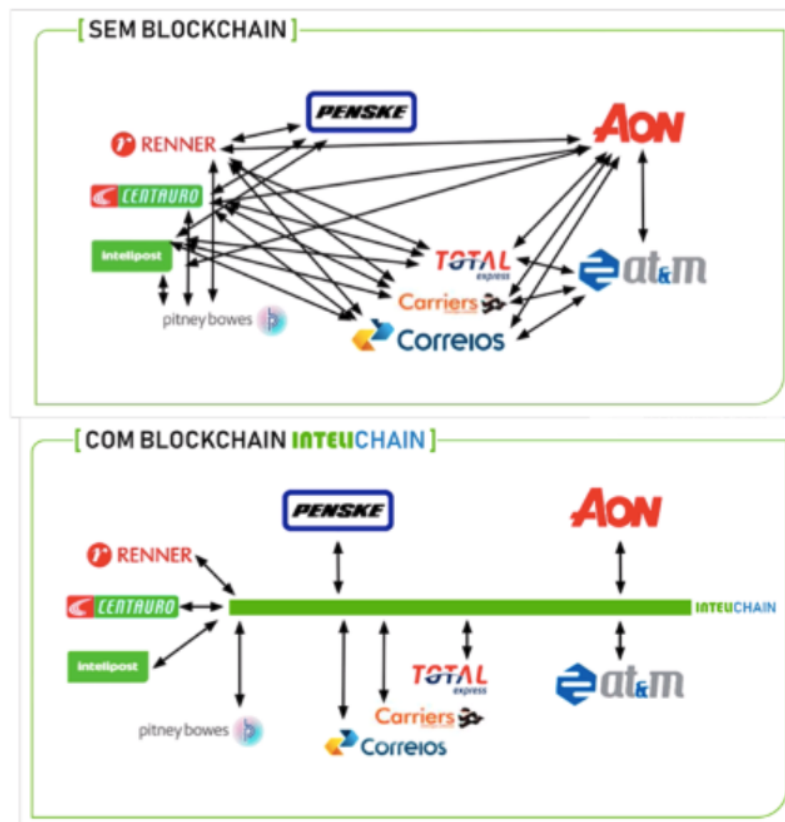


Figura 2.3: Mudança do fluxo de informação do piloto no processo de entrega com e sem *blockchain*.

Fonte: AQUINO (2019).

O setor de varejo já tinha precedentes de provas de conceito de aplicação de *blockchain*: a empresa de alimentos BRF, o varejista Carrefour e a consultora IBM fizeram um piloto de *blockchain* em São Paulo para o consumidor acessar as informações de produção de um produto da marca Sadia em 2017.



## 2.2 Indústria 4.0

De acordo com PEREIRA e ROMERO (2017), a ideia de indústria 4.0 foi concebida por meio da publicação de um artigo em 2011 na Alemanha, em uma ação estratégica do governo, que visava o desenvolvimento tecnológico de sua indústria. Ela equivale a quarta revolução industrial, uma vez que traz consigo grandes mudanças de paradigma e grande aumento da produtividade. Ainda de acordo com os autores, a indústria 4.0 engloba ideias de fábricas inteligentes, produtos inteligentes, novos modelos de negócios e nova experiência dos clientes. Para MOHAMED (2018), os sistemas de manufatura modernos devem ser simultaneamente flexíveis, ágeis, reativos, integrados e econômicos para permitir que as empresas industriais se mantenham competitivas em nível internacional. Além disso, os principais princípios de implementação vistos em diversas pesquisas são apresentados a seguir.

1. Interoperabilidade: a padronização e as descrições semânticas são importantes, pois significa que empresas, humanos e Sistemas Ciber-Físicos (*CPS*) estão conectados por Internet das Coisas (*IoT*) e Internet de Serviços (*IoS*), podendo se comunicar entre si.
2. Virtualização: através do *CPS*, o mundo físico pode ser vinculado ao virtual, isto é, os dados dos sensores estão vinculados a modelos virtuais e de simulação. Assim, uma cópia virtual do mundo físico é criada e habilita o *CPS* para monitorar processos físicos.
3. Capacidade em tempo real: é necessária uma análise contínua de dados para reagir a quaisquer mudanças no ambiente em tempo real, como roteamento ou tratamento de falhas.
4. Descentralização: significa dar autonomia, recursos e responsabilidade aos níveis mais baixos da hierarquia organizacional. Os agentes individuais e *CPS* têm de tomar decisões por conta própria e delegar as decisões a níveis superiores em caso de falhas ou situações complexas.
5. Orientação a serviço: arquitetura orientada a serviços (*SOA*), um padrão arquitetônico no projeto de *software* de computador no qual componentes de

aplicativos fornecem serviços a outros componentes por meio de um protocolo de comunicação, normalmente em rede, que permite o encapsulamento de vários serviços para combiná-los e facilitar sua utilização.

6. Modularidade: os sistemas modulares são capazes de se adaptar de forma flexível às mudanças nos requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais. Portanto, os sistemas modulares podem ser facilmente ajustados em caso de flutuações sazonais ou alterações nas características do produto.

Para PEREIRA e ROMERO (2017), este novo paradigma junta o digital e físico através dos Sistemas Ciber-Físicos (*CPS*) potencializados pela Internet das Coisas (*IoT*). Espera-se que tenha consequências na indústria, nos mercados e na economia, melhorando os processos produtivos e aumentando a produtividade, afetando todo o ciclo de vida do produto, criando novos modelos de negócios, mudando o ambiente de trabalho e reestruturando o mercado de trabalho.

### 2.2.1 Tecnologias da Indústria 4.0

Segundo MOHAMED (2018), a indústria 4.0 abrange algumas tecnologias específicas em si:

1. Identificação (sistemas *RFID*): O primeiro passo é a identificação do bem processado.
2. Localização (*RTLS*): A identificação está associada à localização ou registro do local de identificação; para localizá-lo, são utilizados sistemas de localização em tempo real (*RTLS*).
3. Sistema de sensoriamento ou ciber-físico (*CPS*): É o termo que descreve a unificação de fluxos de trabalho digitais (cibernéticos) com fluxos de trabalho reais (físicos). Na manufatura, isso significa que as etapas físicas de produção são acompanhadas por processos baseados em computação, utilizando o conceito de computação ubíqua. Um CPS inclui sensores e atuadores pelos quais pode coletar e enviar dados. O sensoriamento fornece a função de condição certa para o sistema logístico.

4. Networking ou Internet das coisas (*Internet of Things - IoT*): Com a *IoT*, as empresas podem supervisionar todos os seus produtos em tempo real e gerenciar sua arquitetura logística. O *IoT* faz parte do *CPS* que permite a comunicação com outros *CPS* e entre o *CPS* e os utilizadores.
5. Coleta e análise de dados (*Big Data* e *Data Mining*): A Logística 4.0 implica um enorme aumento de variedade, volume e velocidade de criação de dados. Os tipos e a quantidade de dados coletados aumentaram devido aos avanços na tecnologia de sensores e nos produtos que contêm capacidades computacionais.
6. Serviço Empresarial ou Internet de Serviços (*Internet of services - IoS*): Permite que os fornecedores de serviços ofereçam seus serviços via *Internet*. É composto por participantes, infraestrutura de serviços, modelos de negócios e pelos próprios serviços.

Além disso, em PEREIRA e ROMERO (2017), é exposto que a indústria 4.0 também envolve robótica, manufatura em nuvem e realidade aumentada. Essas tecnologias são essenciais para criação de processos de manufatura mais inteligentes, consistindo em uma produção onde há integração generalizada, o que inclui dispositivos, máquinas, módulos de produção e produtos, isto é, todos os elementos da manufatura trocando informações entre si de forma independente e autônoma, acionando e desencadeando ações e se controlando, criando um ambiente industrial inteligente.

### **2.2.2 Definição de Inteligente e Conceitualização de Indústria 4.0**

Segundo PEREIRA e ROMERO (2017), o termo “inteligente” está associado a dispositivos independentes e autônomos capazes de se comunicar em tempo real e cooperar em um ambiente inteligente com outros dispositivos inteligentes, tomando decisões e realizando ações com base nas informações obtidas. Dessa forma, a Indústria 4.0 é um novo paradigma de manufatura altamente focado na criação de produtos e processos inteligentes, através do uso de máquinas inteligentes e da transformação de sistemas de manufatura convencionais em fábricas inteligentes. O conceito de

indústria 4.0 ainda não é exato para pesquisadores e empresas, mas há um consenso sobre os principais aspectos que abordam a visão de manufatura futura: (1) Fábrica Inteligente, (2) Produtos Inteligentes, (3) Modelos de Negócios e (4) Clientes.

### 1. Fábrica Inteligente

A ideia de fábrica inteligente é fruto de vários desenvolvimentos tecnológicos que envolvem integração, digitalização, uso de estruturas flexíveis e soluções inteligentes. Estes aspectos possibilitam a criação de um ambiente inteligente ao longo de toda a cadeia de valor, permitindo o desempenho de processos flexíveis e adaptativos. Um ambiente de fábrica inteligente consiste em uma nova intercomunicação integrativa em tempo real entre todos os recursos de fabricação (sensores, atuadores, transportadores, máquinas, robôs, etc.), o que aumenta a eficiência fabril e permite atender demandas de mercado altamente complexas.

### 2. Produtos Inteligentes

Os produtos inteligentes são integrados com toda a cadeia de valor como parte ativa dos sistemas, monitorando suas próprias etapas de produção através do armazenamento de dados, podendo solicitar os recursos necessários e controlar a produção de processos de forma autônoma. Além disso, produtos inteligentes, como produtos finais, devem ser autoconscientes sobre os parâmetros dentro dos quais eles devem ser usados, fornecendo informações sobre o seu estado durante todo o seu ciclo de vida. Produtos inteligentes podem ser descritos como *CPS* devido à sua capacidade de permitir a conexão entre os mundos físico e virtual. Esses produtos são caracterizados por vários recursos importantes, como computação, armazenamento de dados, comunicação e interação com seu ambiente, podendo se identificar, armazenar dados sobre seu processo produtivo e fornecer informações sobre outras etapas relacionadas à produção e manutenção. Além disso, os produtos inteligentes têm um alto grau de autonomia, sendo capaz de perceber e interagir autonomamente com seu ambiente físico durante seu ciclo de vida.

### 3. Modelos de Negócios

Os Modelos de Negócios estão sendo altamente influenciados pela Indústria 4.0, pois esse novo paradigma de manufatura implica em uma nova forma de comunicação ao longo das cadeias de abastecimento. A modelagem de negócios está mudando nos últimos anos devido a novos requisitos industriais e de mercado e novos modelos de negócios estão surgindo. Existem muitas oportunidades para otimizar os processos de criação de valor e integração através da cadeia de valor, a fim de alcançar capacidade de auto-organização, integração e comunicação em tempo real.

#### 4. Clientes

Os clientes são um fator chave em todos os modelos de negócios e a Indústria 4.0 traz um conjunto de vantagens para eles, melhorando a comunicação ao longo da cadeia de valor e melhorando sua experiência. O alto nível de integração e a troca autônoma de informações permitirá a mudança de requisitos em tempo real. Além disso, os produtos inteligentes irão fornecer informações relevantes aos seus usuários sobre seu *status* e parâmetros de utilização.

Resumidamente, as fábricas inteligentes estão conectadas a uma cadeia de valor para atender às exigências do mercado e consistem na integração entre máquinas e materiais através de interfaces padronizadas. Materiais e produtos inteligentes são rastreados ao longo de todo o seu ciclo de vida, permitindo um alto grau de customização. A Indústria 4.0 está trazendo o surgimento de novos modelos de negócios que melhor atendam aos requisitos em constante mudança dos clientes, por meio da capacidade de comunicação ao longo de toda a cadeia de abastecimento.

### **2.2.3 Tentativa de Descrição e Conceitualização de Indústria 4.0 por Pesquisadores**

De acordo com PEREIRA e ROMERO (2017), mesmo com tantos sub conceitos e aspectos compondo a definição de indústria 4.0, ainda não há um significado exato. Nesse caminho para definição, muitos pesquisadores abordaram o tema indústria 4.0 e tentaram descrevê-lo de alguma forma.

#### 1. Oesterreich e Teuteberg

Em OESTERREICH e TEUTEBERG (2016) afirma-se que, do ponto de vista técnico, esse novo paradigma industrial pode ser descrito como o aumento da digitalização e automação do ambiente de fabricação, além de um aumento da comunicação possibilitada pela criação de uma cadeia de valor digital.

## 2. Kagermann et al.

Segundo KAGERMANN *et al.* (2013), os principais aspectos do conceito da Indústria 4.0 são caracterizados por três dimensões de integração:

- (a) Integração horizontal através de redes de valor;
- (b) Integração vertical e sistemas de manufatura em rede;
- (c) Integração digital ponta a ponta da engenharia em toda a cadeia de valor.

A integração horizontal através de redes de valor refere-se à integração de vários sistemas de TI, processos, recursos e fluxos de informação dentro de uma organização e entre outras organizações, enquanto a integração vertical e sistemas de manufatura em rede diz respeito à integração desses elementos através dos departamentos e níveis hierárquicos de uma organização, desde o desenvolvimento de produto até a manufatura, logística e vendas. O objetivo desses dois tipos de integração é fornecer uma solução ponta a ponta em toda a cadeia de valor, cujo objetivo é facilitar a personalização do produto e reduzir os custos operacionais por meio do uso do *CPS* para integrar digitalmente toda a cadeia de valor.

## 3. Hermann et al.

De acordo com HERMANN *et al.* (2016), o conceito de Indústria 4.0 pode ser entendido como um termo colaborativo para tecnologias e conceitos que abrangem toda a cadeia de valor das organizações. Este autor, cuja teoria enfatiza a visão da fábrica inteligente e a integração entre seus elementos ao longo da cadeia de valor por meio do uso de capacitadores de tecnologia chave, identificou quatro aspectos principais da Indústria 4.0:

- (a) *CPS*;
- (b) *IoT*;

- (c) *IoS*;
- (d) Fábrica Inteligente.

No framework da indústria 4.0, as fábricas inteligentes são organizadas por uma estrutura modular, cujos processos são controlados e monitorados por *CPS*, que tomam decisões descentralizadas. Por outro lado, a tecnologia *IoT* permite a cooperação entre todos os *CPS* na fábrica inteligente e os operadores em tempo real, enquanto a tecnologia *IoS* fornece serviços internos e interorganizacionais em toda a cadeia de valor.

#### 4. Weyer et al.

Por outro lado, em WEYER *et al.* (2015) afirma-se que esse novo paradigma industrial abrange o desenvolvimento de sistemas inteligentes e ambientes capazes de aproximar o mundo real do virtual por meio do uso de *CPS*, integrando dispositivos, máquinas, módulos de produção e produtos, desencadeando ações e controlando uns aos outros de forma autônoma. No entanto, este autor categoriza os aspectos centrais da Indústria 4.0 em três paradigmas principais:

- (a) Produto Inteligente;
- (b) Máquina Inteligente;
- (c) Operador Aumentado.

O primeiro paradigma diz respeito ao surgimento de novas exigências de mercado e ao desenvolvimento de produtos inteligentes. Esses produtos são capazes de armazenar grande quantidade de dados e interagir com seu ambiente, sendo autoconscientes e comunicando-se autonomamente com sistemas industriais. Além disso, eles são capazes de fornecer informações sobre o seu estado durante todo o seu ciclo de vida. Produtos inteligentes, como *CPS* podem ser gerenciados em tempo real por toda a cadeia de valor, solicitando os recursos necessários para sua conclusão.

O segundo paradigma, muito relacionado com a fábrica inteligente, prende-se com o fato de, no ambiente da Indústria 4.0, as máquinas estão se tornando

*CPS*, o que implica sistemas de produção auto-organizados com componentes, dispositivos, módulos de produção e produtos interconectados. A fábrica inteligente será mais inteligente, flexível e dinâmica e máquinas inteligentes poderão melhorar os processos de produção através da auto-otimização e processo de tomada de decisão autônoma.

Por fim, o paradigma do Operador Aumentado está relacionado ao suporte tecnológico do trabalhador que é necessário no ambiente fabril, o que representa um desafio, pois os operadores enfrentarão uma grande variedade de novas tarefas. A Indústria 4.0 introduz novos tipos de interação entre operador e máquinas, bem como a coexistência entre humanos e robôs, que mudarão completamente a atual força de trabalho industrial para responder às mudanças requisitos e a crescente variabilidade da produção.

Este autor apresenta, além da relevância do produto inteligente e da máquina/fábrica inteligente, um novo aspecto importante para a Indústria 4.0: a interface homem-máquina e o surgimento de novos tipos de trabalhos.

## 5. Posada et al.

Em POSADA *et al.* (2015) se vai além, resumindo e delineando os principais aspectos abordados pela Indústria 4.0:

- (a) Customização em massa de produtos possibilitada pelo uso de TI;
- (b) Adaptação automática e flexível dos sistemas de produção para mudanças de requisitos;
- (c) Rastreamento e autoconsciência de peças e produtos e sua capacidade de se comunicar dentro de seu ambiente;
- (d) Interface homem-máquina aprimorada, a coexistência com robôs e o surgimento de novas formas de interação e operação;
- (e) Comunicação dentro da fábrica inteligente e a otimização da produção possibilitada pela Internet das Coisas;
- (f) Surgimento de novos serviços e modelos de negócios, influenciando toda a cadeia de valor.



Em suma, a Indústria 4.0 detém um enorme potencial, tendo impacto em toda a cadeia de valor, através da otimização dos processos produtivos, melhoria da qualidade dos produtos, estreitamento da relação entre todos os stakeholders e oferta de novos modelos de negócio e novas formas de operar. Em MOHAMED (2018), algumas outras definições são apresentadas e se encontram nas Tabelas I e II:

Tabela I: Autores e definições de indústria 4.0 (Parte 1).

| <b>Autor(es) e Ano</b>  | <b>Indústria 4.0</b>  |
|-------------------------|---|
| Koch et al. (2014)      | “O termo Indústria 4.0 refere-se à quarta revolução industrial e é melhor compreendido como um novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia de valor do ciclo de vida dos produtos”.  |
| MacDougall (2014)       | “A Indústria 4.0 ou Indústria Inteligente refere-se à evolução tecnológica de sistemas embarcados para sistemas ciberfísicos. Conecta tecnologias de produção de sistemas embarcados e processos de produção inteligentes para abrir caminho para uma nova era tecnológica que transformará radicalmente as cadeias de valor da indústria e modelos de negócios”. |
| McKinsey Digital (2015) | “A Indústria 4.0 é vista como uma digitalização do setor manufatureiro, com sensores incorporados virtualmente em todos os componentes de produtos e equipamentos de manufatura, sistemas ciberfísicos ubíquos e análise de todos os dados relevantes”.   |

Tabela II: Autores e definições de indústria 4.0 (Parte 2).

| <b>Autor(es) e Ano</b>   | <b>Indústria 4.0</b>   |
|--------------------------|--|
| Deloitte AG (2015)       | “O termo Indústria 4.0 refere-se a uma etapa de desenvolvimento adicional na organização e gestão de todo o processo da cadeia de valor envolvida na indústria de manufatura”.   |
| Geissbauer et al. (2016) | “A Indústria 4.0 - a quarta revolução industrial, concentra-se na digitalização de ponta a ponta de todos os ativos físicos e integração em ecossistemas digitais com parceiros da cadeia de valor”.   |
| Pfohl et al. (2015)      | “A Indústria 4.0 é a soma de todas as inovações disruptivas derivadas e implementadas em uma cadeia de valor para abordar as tendências de digitalização, automação, transparência, mobilidade, modularização, colaboração em rede e socialização de produtos e processos”.                      |
| Hermann et al. (2015)    | “Indústria 4.0 é um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor. Dentro das Fábricas Inteligentes modulares da Indústria 4.0, os Sistemas Ciberfísicos monitoram processos físicos, criam uma cópia virtual do mundo físico e tomam decisões descentralizadas. |

Sendo assim, a indústria 4.0, como a quarta revolução industrial, tem a missão de enfatizar a digitalização ponta a ponta de todos os ativos físicos e a integração em ecossistemas digitais com parceiros da cadeia de valor. Refere-se a uma etapa extra de desenvolvimento na organização e gestão de todo o processo da cadeia de valor envolvido na indústria. Este novo conceito significa uma combinação de tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor. Dentro das Fábricas Inteligentes de estrutura modular da Indústria 4.0, o *CPS* monitora processos físicos, cria uma cópia virtual do mundo físico e toma decisões descentralizadas. Através da *IoT*, os *CPS*'s se comunicam e cooperam entre si e com os humanos em tempo real. Através da *IoS*, tanto serviços internos como interorganizacionais são oferecidos e utilizados pelos participantes da cadeia de valor para requisitos e produtos cada vez mais individualizados dos clientes.

#### **2.2.4 Desafios da Indústria 4.0**

Segundo MOHAMED (2018), a implementação da indústria 4.0 hoje traz desafios em diversas dimensões. Portanto, é imprescindível que se desenvolva uma estratégia de aplicação, contemplando os atores envolvidos dentro da cadeia de produção. Para desenvolver e executar esses sistemas complexos, as empresas de manufatura precisam projetar e desenhar seus processos de produção de forma adequada e sistemática, seguindo abordagens estruturadas baseadas em princípios sólidos e apoiadas por ferramentas e métodos eficientes. Dessa forma, se faz necessária a produção de um *assessment* que verifique o estado tecnológico atual para que, posteriormente, seja feito um *roadmap* de execução, envolvendo questões relativas à segurança, arquitetura, planejamento financeiro e pessoas. Com isso, muitos autores afirmam que para que se chegue a um estado maduro tecnológico de indústria 4.0, é necessário dez ou mais anos.

Um dos grandes desafios para as organizações colocado nessa mudança de paradigma diz respeito aos funcionários adquirirem novas habilidades e qualificações para poderem lidar com suas novas demandas de trabalho. Qualidades como habilidades de resolução de problemas, análise de falhas, capacidade de lidar com mudanças constantes e atividades novas são essenciais neste processo de transição.

Os funcionários devem ser capazes principalmente de lidar com dados: coleta, processamento e visualização, quando se fala em processo de fabricação.

No entanto, os desafios não ficam somente no âmbito de pessoas. Inovação, componentes tecnológicos, avanços na transformação digital e os crescentes desenvolvimentos de interconectividade desempenham um papel importante nesta transformação. As Tabelas III, IV e V elucidam os maiores desafios encontrados.

Tabela III: Desafios e Questões da Implementação da Indústria 4.0 (parte 1).

| <b>Autor(es) e Ano</b>   | <b>Indústria 4.0: desafios e questões</b>  |
|--|--|
| Dennis Küsters et al. (2017)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incertezas sobre benefícios financeiros devido à falta de casos de negócios demonstrados justificando investimentos.</li> <li>- Ausência de estratégia para coordenar ações entre diferentes unidades organizacionais.</li> <li>- Ausência de talento e capacidades, por exemplo, cientistas de dados.</li> <li>- Falta de coragem para realizar transformações radicais.</li> <li>- Preocupações com cibersegurança com fornecedores terceirizados.</li> </ul> |
| Saurabh Vaidya et al. / Procedia Manufacturing 20 (2018) e Laura Doming (2016) | - Segurança Cibernética: Com a crescente conectividade e uso de protocolos de comunicação padrão advindos da Indústria 4.0, a necessidade de proteger sistemas industriais críticos, linhas de fabricação e dados do sistema de ameaças de segurança cibernética aumenta consideravelmente.  |

Tabela IV: Desafios e Questões da Implementação da Indústria 4.0 (parte 2).

| Autor(es) e Ano  | Indústria 4.0: desafios e questões   |
|--|--|
| Saurabh Vaidya et al. / Procedia Manufacturing 20 (2018) e Laura Doming (2016) (continuação) | <p>- <i>Big Data</i> e Análise Específica de Manufatura: É um desafio garantir alta qualidade e integridade dos dados registrados a partir do sistema de manufatura. As anotações das entidades de dados são muito diversas e é um desafio crescente incorporar repositórios de dados diversos com semântica diferente para análise avançada de dados.</p> <p>- Questões de Investimento: A questão do investimento é bastante geral para a maioria das iniciativas baseadas em novas tecnologias na manufatura. É necessário um investimento significativo para implementar a indústria 4.0 em uma PME inicialmente. A implementação de todos os pilares da indústria 4.0 requer um grande investimento para uma indústria.</p> <p>- Redução dos períodos de desenvolvimento e inovação: Alta capacidade de inovação está se tornando um fator essencial de sucesso para muitas empresas.</p> <p>- Individualização de vendas: Ao longo do tempo, os compradores ganharam a chance de definir as condições do comércio. Essa tendência leva a uma</p> |

Tabela V: Desafios e Questões da Implementação da Indústria 4.0 (parte 3).

| Autor(es) e Ano  | Indústria 4.0: desafios e questões  |
|--|---|
| Saurabh Vaidya et al. / Procedia Manufacturing 20 (2018) e Laura Doming (2016) (continuação) | <p>individualização crescente dos produtos. É chamado de "tamanho do lote um".</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilidade: Devido às características dos mercados, a flexibilidade na produção é essencial.</li> <li>- Descentralização: Para lidar com os novos requisitos do quadro, serão necessários procedimentos de tomada de decisão mais rápidos. É por isso que as hierarquias organizacionais precisam ser reduzidas.</li> <li>- Mais sustentabilidade: O objetivo é eficiência econômica e ecológica na produção, devido ao aumento dos preços dos recursos, bem como à mudança social nos aspectos ecológicos.</li> </ul> |

## 2.2.5 Benefícios da Indústria 4.0

Por outro lado, a partir desta nova infraestrutura, vários benefícios e lucros surgirão. De acordo com MOHAMED (2018), a prototipagem virtual e aumentada, por exemplo, fornece uma compreensão completa dos recursos e benefícios do produto, facilitando a exploração interativa de todas as funcionalidades entre todas as partes interessadas. Outros benefícios como a personalização individualizada, mais alocação dinâmica de recursos/capacidade, tempos de troca mais curtos e complexidade de produção reduzida com menos restrições, também aparecem neste novo paradigma. Isso permite processos de produção mais rápidos, baratos, fáceis e diversificados. As Tabelas VI, VII, VIII, IX e X resumem alguns dos benefícios e oportunidades mais importantes.

Tabela VI: Benefícios da Implementação da Indústria 4.0.

| Autor(es) e Ano             | Benefícios da Indústria 4.0  |
|-----------------------------|--|
| Ekaterina Uglovskaja (2017) | <ul style="list-style-type: none"><li>- Planejamento e controle avançados com dados relevantes em tempo real;</li><li>- Reação rápida a mudanças na demanda, nível de estoque e erros;</li><li>- Eficiência sustentável na manufatura e recursos (materiais, energia, pessoal);</li><li>- Maior qualidade, produção flexível;</li><li>- Aumento da produtividade;</li><li>- Reação <i>ad-hoc</i> às mudanças de mercado;</li><li>- Personalização de produtos;</li><li>- Novo nível de satisfação do cliente;</li><li>- Aumento da vantagem competitiva pela implementação bem-sucedida do modelo de negócios digital e criação de tecnologia;</li><li>- Redução de custos e desperdícios;</li><li>- Condições de trabalho mais seguras;</li><li>- Novos postos de trabalho;</li></ul> |

Tabela VII: Benefícios da Implementação da Indústria 4.0 (parte 2).

| <b>Autor(es) e Ano</b>                       | <b>Benefícios da Indústria 4.0</b>   |
|--|--|
| Ekaterina Uglovskaja (2017)<br>(continuação) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da receita;</li> <li>- Imagem inovadora da empresa.</li> </ul>  |
| M.W. Waibel et al. (2018)                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução de superprodução e desperdício;</li> <li>- Redução do consumo de energia, já que tarefas intensivas em energia podem ser realizadas quando há superprodução. Uso de recuperação de energia para todo o sistema;</li> <li>- Redução de resíduos, especialmente na fase de desenvolvimento do produto;</li> <li>- Redução do esforço de transporte e viagem;</li> <li>- Economia de recursos naturais;</li> <li>- Contribuição para a dimensão ambiental das plantas industriais existentes.</li> </ul>   |
| T. Pereira et al. (2017)                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção descentralizada e digitalizada, onde os elementos de produção são capazes de controlar autonomamente a si mesmos;</li> <li>- Os produtos se tornarão mais modulares e configuráveis, promovendo a personalização em massa para atender requisitos específicos do cliente;</li> <li>- Novos modelos de negócios inovadores: as cadeias de valor estão se tornando mais responsivas, aumentando a competitividade pela eliminação de barreiras entre informações e estruturas físicas;</li> <li>- A digitalização consiste na convergência entre os mundos físico e virtual e terá um impacto generalizado em todos os setores econômicos;</li> <li>- O principal impulsionador da inovação, que desempenhará um papel crítico na produtividade e na competitividade.</li> </ul> |



Tabela VIII: Benefícios da Implementação da Indústria 4.0 (parte 3).

| Autor(es) e Ano                           | Benefícios da Indústria 4.0   |
|---|---|
| T. Pereira et al. (2017)<br>(continuação) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformação de empregos e habilidades necessárias: evitar o que é conhecido como desemprego tecnológico, redefinindo empregos existentes e tomando medidas para adaptar a força de trabalho aos novos empregos que serão criados;</li> <li>- Novas competências e é necessário criar oportunidades para a aquisição das habilidades necessárias por meio de treinamento de alta qualidade.</li> </ul>  |
| Hugo Karre et al. ( 2017 )                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Os trabalhadores terão uma participação muito maior na realização de tarefas complexas e indiretas, como colaborar com máquinas em seu trabalho diário;</li> <li>- Os trabalhadores terão que (1) resolver problemas não estruturados, (2) trabalhar com novas informações e (3) realizar uma série de tarefas manuais não rotineiras;</li> <li>- Reforçando habilidades físicas como força ou habilidades motoras finas e reduzindo a tensão física relacionada ao trabalho usando exoesqueletos, dispositivos de posicionamento, robôs ou automação de tarefas monótonas; Reduzindo o esforço de memória de curto prazo necessário visualizando informações detalhadas e sob demanda (os usuários obtêm informações relevantes quando precisam e em um formato que podem compreender); Reduzindo o número de erros cometidos no chão de fábrica por meio da observação em tempo real do processo e instruções de trabalho baseadas em habilidades/competências.</li> </ul> |

Tabela IX: Benefícios da Implementação da Indústria 4.0 (parte 4).

| Autor(es) e Ano        | Benefícios da Indústria 4.0  |
|------------------------|--|
| Yasanur Kayikci (2018) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo logístico: Mudanças nas economias de custo logístico em termos de transporte, armazenamento, custos de manutenção de estoque e administração;</li> <li>- Tempo de entrega: Mudanças nas melhorias de entrega, tempo de ciclo, tempo de liderança;</li> <li>- Atraso no transporte: Mudanças na quantidade de remessas atrasadas;</li> <li>- Redução de estoque: Mudanças no volume de estoque;</li> <li>- Perda/dano: Mudanças na quantidade de produtos perdidos e/ou danificados devido a danos, roubo e acidentes;</li> <li>- Frequência de serviço: Mudanças na taxa de utilização (fator de carga), intervalos frequentes;</li> <li>- Precisão da previsão: Mudanças nas incertezas da demanda;</li> <li>- Confiabilidade: Mudanças na qualidade logística em termos de transporte, estoque e armazenamento, por exemplo, pedido perfeito, entregas no prazo programado;</li> <li>- Flexibilidade: Mudanças nas condições de planejamento, por exemplo, percentual de remessas não programadas executadas sem demora indevida;</li> <li>- Volumes de transporte: Mudanças no volume total de carga transportada;</li> <li>- Aplicações: Aplicações adequadas para a digitalização nos processos logísticos.</li> </ul> |

Tabela X: Benefícios da Implementação da Indústria 4.0 (parte 5).

| Autor(es) e Ano             | Benefícios da Indústria 4.0  |
|-----------------------------|--|
| McKinsey and Company (2015) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande aumento em todas as eficiências operacionais com o uso de alavancagem de dados para melhorar os processos;</li> <li>- A Indústria 4.0 é vista como um dos principais impulsionadores do crescimento dos níveis de receita, mesmo que sua implementação também exija investimentos significativos por parte das empresas;</li> <li>- Logística e estatísticas são geradas e coletadas de forma automatizada, tornando as respostas mais rápidas;</li> <li>- O crescimento que ela estimula levará a um aumento de 6% no emprego nos próximos dez anos.</li> </ul> |
| BCG study (2015)            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da produtividade: Na indústria automotiva, por si só, espera-se que a produtividade aumente de 10 a 20%, uma vez que a Indústria 4.0 esteja totalmente implementada;</li> <li>- O crescimento que ela estimula levará a um aumento de 6% no emprego nos próximos dez anos;</li> </ul>   |
| Koch et al. (2014)          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da produtividade: as eficiências operacionais aumentarão em média 3,3% ao ano nos próximos cinco anos, resultando em uma redução média anual de custos de 2,6%;</li> <li>- A receita aumentará mais rapidamente e em maior proporção do que os custos incorridos para automatizar ou digitalizar o processo de fabricação em termos de Indústria 4.0.</li> </ul>  |

Como nós podemos observar nas Tabelas VI, VII, VIII, IX, X e em concordância com MOHAMED (2018), a Indústria 4.0 oferece inúmeros benefícios, por exemplo, a redução dos custos trabalhistas, a simplificação dos processos de negócios e redução de imprecisões de estoque, além de maior transparência na logística e processos (Custo logístico; Prazo de entrega; Atraso no transporte e Mudanças na quantidade de remessa atrasada; Redução de estoque; Perda/dano; Frequência de atendimento; Precisão da previsão; Confiabilidade; Flexibilidade; Volumes de transporte). Todas estas são chaves para o aumento da produtividade e das receitas que podem, portanto, estimular o crescimento econômico.

Dessa forma, a mudança de paradigma trazida pela indústria 4.0 traz também diversos benefícios e desafios. Não é exatamente definida, mas já possui diversas ideias e aspectos centrais, se mostrando um fenômeno inevitável às cadeias produtivas e organizações industriais do mundo.

## Capítulo 3

### Trabalhos Relacionados

Antes de apresentar os trabalhos que foram utilizados como referência para este trabalho, apresenta-se o cenário atual no que diz respeito à produção acadêmica relacionada ao *blockchain*, para que se entenda sua crescente importância. Segundo SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO (2022), o número de publicações sobre o tema tem aumentado consideravelmente no Brasil. A Figura 3.1 apresenta a evolução da pesquisa entre 2017 e 2021.

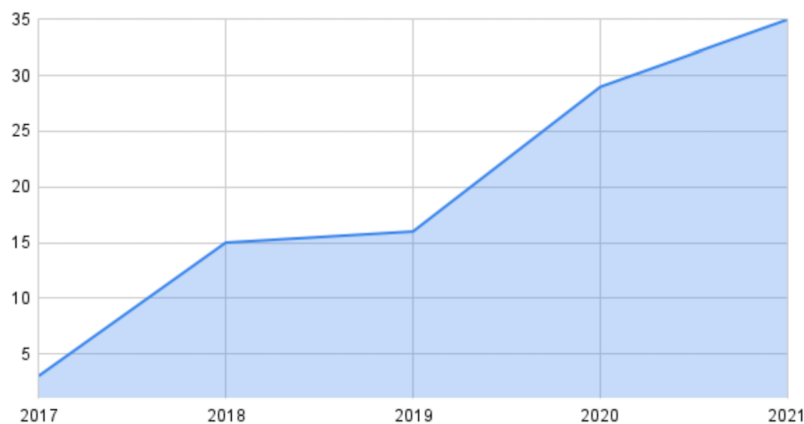


Figura 3.1: Publicações sobre *blockchain* por ano.

Fonte: Sociedade Brasileira de Computação, disponível em:

<https://horizontes.sbc.org.br/index.php/2022/05/um-panorama-da-pesquisa-em-blockchain-no-brasil/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

Eventos envolvendo a área de redes e segurança, como o SBRC e SBSeg, publicam a maioria dos trabalhos de *blockchain*. São considerados também os *workshops* associados aos dois eventos mencionados, como o *WBlockchain*, o atual maior fórum

nacional de discussão de *blockchain* no que diz respeito à pesquisa e publicação de artigos científicos. Dessa forma, é possível organizar os artigos em dois grandes tópicos: Plataformas e Aplicações.

As aplicações têm maioria, constituindo 71% dos trabalhos, devido ao fato da tecnologia surgir de uma aplicação, o *Bitcoin*. Por outro lado, o tópico Plataformas considera pesquisas que constituem a base para as aplicações, onde consenso distribuído e infraestrutura de redes são os temas mais abordados pelos artigos, representando respectivamente 39% e 25%. Isso se deve ao fato da pesquisa nessas áreas já existir e ser bem estabelecida no Brasil antes do aparecimento da tecnologia *blockchain*.

Tabela I: Quantidades e porcentagem de temas de artigos relativos à plataformas.

| Plataformas                               | Quantidade | Porcentagem |
|---|------------|-------------|
| Consenso Distribuído                      | 11         | 39%         |
| Infraestrutura de Computadores            | 7          | 25%         |
| <i>Blockchain</i> Pública e Permissionada | 5          | 18%         |
| Contratos Inteligentes e DAO              | 3          | 11%         |
| Estrutura de Dados                        | 1          | 4%          |
| Assinatura Digital                        | 1          | 4%          |

Fonte: Sociedade Brasileira de Computação, disponível em:

<https://horizontes.sbc.org.br/index.php/2022/05/um-panorama-da-pesquisa-em-blockchain-no-brasil/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

O tema *Blockchain* Pública e Permissionada trata sobre os dois tipos de *blockchain*, um que se refere à aplicações disponíveis para todos os tipos de usuários, enquanto que o outro se refere à *blockchains* de redes privadas, onde o acesso é exclusivo aos membros de uma corporação. Pode-se citar como exemplo de *blockchains* públicas plataformas como o *Bitcoin* e o *Ethereum*, disponíveis para qualquer um que queira negociar criptomoedas ou *tokens*. Por outro lado, plataformas como *Hyperledger* e *R3* atendem a demanda de *blockchains* permissionadas para corporações. A Rede *Blockchain* Brasil (RBB, 2020) é uma *blockchain* permissionada direcio-

nada para aplicações do governo, liderada pelo BNDES e segue padrões da *Latin America e Caribe Blockchain (LACChain)* liderada pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Outros assuntos relevantes são os contratos inteligentes e *DAO*. Contratos inteligentes são responsáveis por automatizar ações previstas entre duas ou mais partes de uma forma digital em um programa de computador. Com o *blockchain*, surge a possibilidade de extinguir intermediários dos trâmites.

As *DAOs* são prestadoras de serviços baseados em contratos inteligentes para usuários individuais ou comunitários. Elas constituem uma aplicação descentralizada ou *dApp* e são governadas por um *token*. Qualquer pessoa que compre e detenha esses *tokens*, chamados *tokens* de governança, ganha a capacidade de votar em assuntos importantes diretamente relacionados à *DAO*. Pode-se citar algumas dessas plataformas como *Ethereum*, *Algorand* e *Neo*. Esse aquecimento nesse tema faz com o interesse de pesquisadores do Brasil também cresça, o que faz com que as publicações relacionadas cresçam também. A Tabela II mostra a quantidade de artigos sobre Aplicações de acordo com seus temas de pesquisa relacionados.

Tabela II: Quantidades e porcentagem de temas de artigos relativos à aplicações.

| Aplicações                 | Quantidade | Porcentagem |
|----------------------------|------------|-------------|
| Finanças                   | 16         | 23%         |
| Internet das Coisas        | 11         | 16%         |
| Gerenciamento de Dados     | 10         | 14%         |
| Governança                 | 10         | 14%         |
| Privacidade e Segurança    | 7          | 10%         |
| Saúde                      | 5          | 7%          |
| Educação                   | 4          | 6%          |
| Negócios e Indústria       | 4          | 6%          |
| Verificação de Integridade | 3          | 4%          |

Fonte: Sociedade Brasileira de Computação, disponível em:

<https://horizontes.sbc.org.br/index.php/2022/05/um-panorama-da-pesquisa-em-blockchain-no-brasil/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

Pela tabela, é possível notar que a área de finanças lidera as pesquisas no Brasil. Isso se deve principalmente ao fato de a primeira aplicação de *blockchain* ter sido proposta para este tema. Dentro de Finanças, dois subtemas se destacam, no que diz respeito a produção de pesquisa: os modelos de redes (grafos), que caracterizam as relações entre usuários via transferência de cripto ativos ou *tokens*, e a predição de cotação de cripto ativos e anomalias nas grandes redes *blockchains*, como *Bitcoin* e *Ethereum*. O segundo maior alvo de publicações dos pesquisadores tem sido técnicas para gerenciamento de dados em *blockchain*, onde os artigos tratam do uso de *blockchain* para armazenamento de dados de forma distribuída em aplicações de diversos contextos. Esse crescente interesse se dá pelo fato das transações em *Bitcoin* e *Ethereum* terem sido projetadas e desenhadas para terem uma quantidade de dados limitada. Isso faz com que o armazenamento *off-chain* indexado por *hashes* na *blockchain*, *InterPlanetary File System (IPFS)* e o uso de *blockchain* permissionadas como banco de dados distribuído sejam subtemas em evidência dentro de gerenciamento de dados. Além da área de finanças e armazenamento de dados, outros tópicos vêm ganhando a atenção dos pesquisadores dentro da produção acadêmica no Brasil. A Figura 3.2 apresenta os principais domínios e subdomínios propostos nos últimos anos no Brasil.

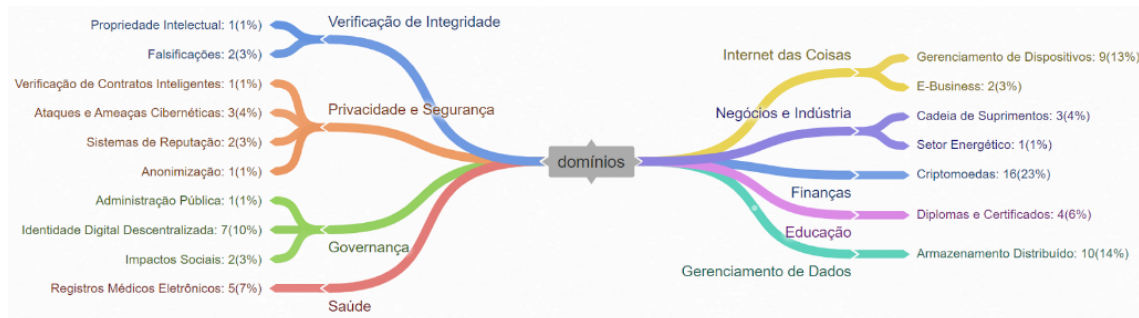


Figura 3.2: Principais domínios e subdomínios propostos nos últimos anos no Brasil.

Fonte: Sociedade Brasileira de Computação, disponível em:

<https://horizontes.sbc.org.br/index.php/2022/05/um-panorama-da-pesquisa-em-blockchain-no-brasil/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

É possível notar que os temas Governança e Privacidade e Segurança se destacam no que diz respeito a ter a maior quantidade de subtemas. O tema Governança se refere à utilização de *blockchain* para governos com o intuito de reduzir burocracia e



custos de serviços públicos, enquanto que quando se fala de Privacidade e Segurança, trata-se de problemas relativos a “bugs” em contratos inteligentes e ataques de negação de serviço explorando o modelo de tarifação em criptomoedas. Há outras questões relacionadas à Privacidade e Segurança que têm sido exploradas, como a exploração do anonimato dos usuários para ocultação de crimes. É válido ressaltar que com o crescimento da pesquisa relacionada à tecnologia *blockchain*, existe uma tendência do crescimento de *startups* que a utilizam como base de seus negócios. Nos últimos anos, houve um surgimento de mais de cem *startups* brasileiras que oferecem serviços baseados em *blockchain*. Entre os serviços explorados estão gerenciamento de dispositivos e negócios via Internet das Coisas, registros médicos eletrônicos, diplomas, registro de propriedade intelectual e cadeias de suprimentos. Mesmo com o aumento da pesquisa e da criação de *startups*, a utilização de *blockchain* em cadeias de suprimentos pode enfrentar diversos desafios, uma vez que a indústria brasileira já encontrou obstáculos ao implementar novas tecnologias no passado. Tendo o avanço do *blockchain* no cenário nacional em vista e sabendo que o cenário internacional também tem grande movimentação no que diz respeito à produção acadêmica, são expostos a seguir os trabalhos que fundamentaram a produção deste trabalho.

### ***3.1 Supply Chain Transparency Through Blockchain-based Traceability: An Overview with Demonstration***

O primeiro artigo a ser citado como referência é o SUNNY *et al.* (2020). Ele se inicia diferenciando transparência de rastreabilidade, definindo cada um e informando que por meio da rastreabilidade é possível se obter transparência. Em seguida, explora o fato de pesquisadores já terem proposto sistemas de rastreabilidade em um contexto de *supply chain*. Em 2014, SCHOLTEN *et al.* (2014) propôs um sistema com objetivo de alcançar uma cadeia de suprimentos de carne transparente, com a possibilidade dos clientes e os integrantes da cadeia de suprimentos terem acesso a todo o histórico rastreado da carne. Em 2011, KANDEL *et al.* (2011) apresentaram um sistema de rastreabilidade chamado *GPS.LAB*, utilizando a tecnologia *GPS*

(*Global Positioning System*), no contexto de gerenciamento de eventos de planejamento da produção e cadeias de suprimentos. No entanto, estas soluções consistem em sistemas centralizados, que trazem como pontos negativos a possibilidade de manipulação de dados, além do grande impacto sofrido em caso de falhas.

Dessa maneira, o *blockchain* é apresentado como solução de rastreabilidade e transparência no contexto industrial e de cadeia de suprimentos, por suas características descentralizadas. Com isso, o texto apresenta uma análise geral com diversos casos de uso da literatura onde a tecnologia é utilizada para rastreamento, além de exaltar seus benefícios relativos à transparência e enumerar diversos artigos publicados sobre o assunto, apontando os cenários de cadeias de suprimentos considerados, soluções implementadas, benefícios e limitações.

O texto discute ainda a rede de distribuição associada com cada cenário da cadeia de suprimentos e expõe ideias de como diferentes designs de distribuição de redes se beneficiam de soluções baseadas em *blockchain*. Expõe ainda a importância do *IoT* e dos contratos inteligentes em soluções neste contexto.

Motivado pela literatura apresentada, o autor desenvolveu uma *PoC* (Prova de Conceito) para uma cadeia fria, utilizando *Microsoft Azure Blockchain Workbench*. Em seguida, o texto apresenta alguns casos de uso de *blockchain* como ferramenta de rastreabilidade na cadeia de suprimentos, divididos pelo tipo. Inicialmente, analisa a indústria de comida e agricultura.

Explora o caso da soja, em que SALAH *et al.* (2019a) apresentaram um modelo que utiliza *Ethereum public blockchain* e contratos inteligentes para garantir rastreabilidade em uma cadeia de suprimentos de soja. *Inter Planetary File System (IPFS)* e identificadores padronizados como *Global Trade Identification Numbers (GTIN)* são parte do *framework*. Os participantes da cadeia de suprimentos de soja precisam interagir com um contrato inteligente implantado no *blockchain* para adicionar as informações naquele momento.

Em CARO *et al.* (2018), desenvolveram e implementaram uma solução de rastreabilidade baseada em *blockchain*, chamada *AgriBlockIoT*, especialmente para ge-

reenciar a cadeia de suprimentos agroalimentar. Um caso de uso chamado ‘*farm to fork*’ é selecionado para testar a viabilidade do *AgriBlockIoT* e implantá-lo usando implementações de *blockchain Ethereum* e *Hyperledger*.

TIAN (2016) propôs uma solução de rastreabilidade baseada em *blockchain*, especialmente para estabelecer transparência nas cadeias de suprimentos agroalimentares chinesas. A solução proposta incorpora dispositivos de identificação por radiofrequência (*RFID*) com tecnologia *blockchain*. A estrutura conceitual da solução *blockchain* proposta pode facilitar o rastreamento em tempo real de itens agroalimentares. Dados relevantes devem ser adquiridos em diferentes estágios da cadeia de suprimentos, como produção, processamento, armazenamento, distribuição e vendas, utilizando *RFID*, *GPS* e outras tecnologias de rede sem fio. Além dos intervenientes regulares da cadeia de suprimento, as autoridades de segurança alimentar, clientes e órgãos governamentais também podem fazer parte da rede *blockchain*, o que garante mais segurança e qualidade. Com o apoio de contratos inteligentes, é possível regular toda a cadeia de abastecimento, monitorando o desempenho dos membros e impondo penalidades em caso de violação dos requisitos. Em suma, as soluções de rastreabilidade *blockchain* podem tornar as cadeias de abastecimento alimentar/agrícola sustentáveis, resilientes e eficientes.

São apresentadas diversas iniciativas de empresas no que diz respeito à rastreabilidade utilizando *blockchain*, além de diversos exemplos da aplicação da tecnologia em outras indústrias e cadeias de suprimento: farmacêutica, pacote expresso de correio, artigos de luxo, eletrônicos de consumo, manufatura, automotiva, têxtil, madeira, bens perigosos e outros.

As demandas da indústria farmacêutica por transparência em sua cadeia de suprimentos são exploradas e o conceito de cadeia fria, um tipo de cadeia de suprimentos onde a temperatura e umidade dos produtos deve ser mantida em uma certa faixa durante o processo, é introduzido. O autor acredita que a combinação de *blockchain*, *smart contract* e *IoT* é a solução para os desafios dessas cadeias.

Há acompanhamento em tempo real de dispositivos *IoT* por todo o trajeto do produto coletando dados que serão adicionados à rede *blockchain*, verificando qualquer tipo de penalidade. Em seguida, é introduzido o conceito de prova de conceito (*PoC*) e informado que no artigo, um protótipo de aplicativo havia sido desenvolvido para performar a *PoC*. Dispositivos reais de *IoT* não foram incorporados na prática para desenvolvimento do trabalho, transferindo a função de adicionar temperatura e umidade ao *blockchain* para os próprios atores da cadeia de suprimentos. O texto descreve como foi desenhado o protótipo proposto, utilizando o *Microsoft Azure Blockchain Workbench* e analisa cada etapa da cadeia de suprimentos no que diz respeito aos dados que são incluídos nos contratos inteligentes, onde é utilizada como linguagem de desenvolvimento o *Solidity*. O texto ilustra alguns trechos de código referentes ao contrato inteligente e os correlaciona com as respectivas etapas e parâmetros na linha temporal da cadeia de suprimentos. Todos esses dados são coletados e adicionados ao *blockchain*. Detalhes relativos à modelagem do processo da cadeia fria são descritos e, finalmente, o texto discute e conclui o alto potencial do *blockchain* no contexto das cadeias de suprimentos, e os vários setores onde sua aplicação melhora o processo.

### **3.2 Utilização de *blockchain* na Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Leite**

O segundo artigo utilizado como referência tem o título de MENDONÇA *et al.* (2020). A demanda e benefícios da rastreabilidade em cadeias de suprimento fazem do *blockchain* uma aplicação promissora, inclusive na cadeia produtiva do leite. O trabalho se propõe a oferecer uma solução para esta questão, apresentando uma arquitetura distribuída, baseada em *blockchain*, incluindo dados capturados por sensores e interligados por meio da *blockchain*. Inicialmente, faz referência a trabalhos relacionados, isto é, trabalhos que utilizaram um estudo de caso para implementação da tecnologia *blockchain* no contexto de rastreabilidade da cadeia de suprimentos.

No primeiro, BUMBLAUSKAS *et al.* (2020), é apresentada uma implementação para rastreamento da produção e entrega de ovos por uma empresa dos EUA, com

o objetivo de verificar a precisão e transparência em aplicar a *blockchain* nesse contexto. Os métodos utilizaram sensores *IoT* e a integração da *blockchain Hyperledger* e uma aplicação *web* com o intuito de fornecerem uma estrutura de captura de dados e análises relacionados ao impacto de sua implementação.

Já no segundo trabalho, XU *et al.* (2019), foi construída uma aplicação para disponibilizar rastreabilidade, utilizando uma *blockchain* baseada em *Ethereum* de forma pública e privada. Eles avaliaram a aplicação de forma quantitativa por meio da latência de leitura e escrita na *blockchain* em um banco de dados local e um banco de dados remoto, tendo como uma das conclusões que as *blockchain* privadas possuem melhores desempenhos em relação às públicas.

O terceiro trabalho, FIGORILLI *et al.* (2018), contextualiza-se na indústria da madeira, utilizando dados de sensores *RFID*, além de *Workbench Azure Blockchain* para aplicação e concluindo a viabilidade econômica da aplicação.

Em seguida, o texto propõe uma arquitetura modular, composta por três módulos principais: rastreabilidade, cliente e sensores. É proposto um monitoramento em tempo real por meio da comunicação destes sensores com o sistema, feita pelo módulo sensores. Enquanto isso, os dois primeiros módulos se comunicam diretamente com a *blockchain*. O módulo Rastreabilidade é responsável pela interoperabilidade entre a captação dos dados coletados no decorrer da cadeia de suprimentos e a sua disponibilização na *blockchain*. Já o módulo Cliente disponibiliza acesso público aos dados registrados pelo módulo rastreabilidade. Neste caso, a *blockchain* foi utilizada como um banco de dados distribuído e validador de acessos. Além disso, foram utilizados contratos inteligentes. As etapas consideradas consistem em produção, armazenamento, coleta e transporte, indústria, distribuição e mercado.

No que diz respeito à aplicabilidade da arquitetura, foram utilizadas uma rede privada baseada na rede *blockchain Ethereum*, funcionando como banco de dados seguro e confiável de informações, contratos inteligentes, para o gerenciamento das informações salvas na rede *blockchain*, uma aplicação, para geração e inserção de dados na rede e uma aplicação desenvolvida para o rastreio do produto.

O componente *blockchain* foi utilizado como base para armazenamento dos dados relacionados ao produto de forma privada. A forma pública da rede *blockchain* foi utilizada para armazenar o *hash* das informações dos produtos e os membros autorizados a inserir os dados dos produtos na rede.

Foram desenvolvidos dois contratos inteligentes. Os contratos foram escritos na linguagem *Solidity*, compilados e migrados para uma rede pública. O contrato nomeado Inicialização é responsável por inserir e gerenciar os usuários da rede. O contrato Inserção, por sua vez, é responsável por gerenciar a inserção de informações na rede, assim como verificar a autenticidade de usuários para que esses dados sejam inseridos apenas por endereços válidos.

Para a implementação do módulo Rastreabilidade foi utilizada a linguagem de programação *Python* e, a partir da biblioteca *web3py*, foi possível interagir com os contratos inteligentes na rede e inserir e rastrear produtos da cadeia de suprimentos. No Módulo Cliente, foi utilizada a plataforma de desenvolvimento *Android Studio*.

Ao avaliar resultados, foram criados dois cenários de execução da solução: o primeiro cenário contendo apenas um nó *Ethereum* e o segundo cenário contendo dois nós *Ethereum*, capturando dados. O Tempo de transação (tempo gasto para efetuar a transação) e o Tamanho da fila (tamanho da fila de espera a cada inserção de transação) foram avaliados, obtendo resultados considerados satisfatórios, uma vez que atendem os requisitos da aplicação para disponibilização dos dados em tempo real e apresentam filas de espera pequenas.

### **3.3 *blockchain* Aplicado à Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Cacau da Amazônia**

No artigo TEJOS *et al.* (2022), é proposta uma solução que torna a cadeia produtiva do cacau amazônico rastreável, fazendo uso de tecnologias como *blockchain* e *IoT*. A proposição é acompanhada de uma *PoC* (*Proof of Concept*), que demonstra sua viabilidade técnica. É exposto o conceito de Amazônia 4.0, que utiliza

tecnologias digitais como agentes de transformação socioeconômica para as atividades das comunidades da floresta. Dessa forma, consegue-se produtos com origem garantida, menos desmatamento, proteção à comunidade amazônica, proteção da biodiversidade e a construção de um caminho para a sustentabilidade de recursos e de relacionamento com todos que participam do ecossistema local.

Dados relativos às etapas de produção da cadeia do Cacau e seus parâmetros são coletados e armazenados na *blockchain*. Parte desses dados são passados para o módulo “sistema de *blockchain*” via gerenciador local. O operador do sistema pode atuar em cada processo individualmente ou no sistema como um todo via IHM (Interface Homem Máquina). Para tanto, ele deve ter as credenciais adequadas, o que é verificado pelo módulo de segurança. Para auxiliar o operador, os materiais vêm com um *QR code* na embalagem contendo sua identificação.

Alguns trabalhos se relacionam com o do artigo. O primeiro é SUNNY *et al.* (2020), que tem como principal objetivo apresentar uma visão geral de vários sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia *blockchain* encontrados na literatura e como a *IoT* e *smart contracts* aumentam as oportunidades da aplicação do *blockchain*. O trabalho é validado com uma *PoC* (Prova de Conceito). Também é feita uma referência ao artigo de TIAN (2016), que utiliza *blockchain* e *RFID* para atuar no mercado de alimentos chinês. Outro artigo citado é o MENDONÇA *et al.* (2020), nosso segundo artigo, que propõe a arquitetura modular baseada em *blockchain* para a rastreabilidade da cadeia produtiva do leite. Por fim, o trabalho de MONTEIRO *et al.* (2021) é referenciado, trazendo um modelo MRPA (Modelo de Rastreabilidade Pervasiva de Agroquímicos) para a rastreabilidade de defensivos agrícolas juntamente com sensores *IoT*, aprendizado de máquina, redes de névoa (*fog*), identificação *RFID* e *blockchain*.

O sistema de rastreabilidade para a cadeia produtiva do cacau é descrito e para definir a arquitetura de implementação considerou-se a especificação dos requisitos e a visão geral de seu sistema de automação. Os principais requisitos são: rastreabilidade, coleta de dados, auditabilidade, consistências de dados, disponibilidade e continuidade do serviço de rastreabilidade.

Os autores dividem a arquitetura de implementação em dois subsistemas: Planta local (local de processamento do cacau e sua cadeia produtiva) e Sistema de Nuvem (localizado em algum serviço de nuvem pública e armazena a cadeia de *blockchain* referente a produção de chocolate realizada na planta local) e é composta por diversos sistemas: sistema de nuvem, *smart contract*, gerenciador de nuvem, planta local, processos, máquina e sincronizador. É necessário que a inserção de dados da cadeia produtiva na *blockchain* seja feita de forma específica, dada sua arquitetura e existe a possibilidade do consumidor rastrear todo o processo pelo qual o produto passou utilizando seu *smartphone* e lendo o código *QR* disponibilizado, o que o redireciona para uma página *web* com todos os dados relevantes de origem e processo. Com a imagem digital do sistema criada, os resultados se mostraram positivos, uma vez que ao se acessar o sistema *blockchain*, teve acesso aos diversos dados de interesse.

### ***3.4 Using System Dynamics to Analyze the Societal Impacts of Blockchain Technology in Milk Supply Chains***

O quarto trabalho de referência é o YALCIN e UNAL (2020). O trabalho explora os impactos sociais da integração da tecnologia *blockchain* no setor alimentício, com foco na cadeia de suprimentos de leite. Utilizando teoria e dinâmica de sistemas, são analisados dados de uma cooperativa turca que apoia produtores de leite. O estudo conclui que a incorporação do *blockchain* melhora a rastreabilidade, reduz fraudes e promove transparência. Ao longo de 18 anos, os esforços da cooperativa aumentaram significativamente a produção de leite. A pesquisa sugere que a adoção do *blockchain* contribui para alcançar objetivos de desenvolvimento sustentável, garantindo alimentos seguros e melhorando o bem-estar para animais, fazendeiros e a comunidade próxima.



### 3.5 *Blockchain Technology in Agri-food Value Chain Management: A Synthesis of Applications, Challenges and Future Research Directions*

O artigo ZHAO *et al.* (2019) utilizou análise sistemática de redes de literatura (SLNA) para revisar a tecnologia *blockchain* de última geração, incluindo seus avanços recentes, principais aplicações na cadeia de valor agroalimentar e desafios de uma perspectiva holística. As descobertas sugerem que a tecnologia *blockchain*, juntamente com a tecnologia avançada de informação e comunicação e a Internet das coisas, foram adotadas para a melhoria da gestão da cadeia de valor agroalimentar em quatro aspectos principais: rastreabilidade, segurança da informação, produção e gestão sustentável da água. Foram identificados seis desafios, incluindo capacidade de armazenamento e escalabilidade, fuga de privacidade, custos elevados e problemas de regulamentação, problemas de rendimento e latência e falta de competências.

Inicialmente, o texto apresenta a ideia de que mesmo sendo extremamente promissora para o futuro, a pesquisa relacionada à tecnologia *blockchain* utilizada nas cadeias de valor agrícolas apresenta uma falta de revisões atualizadas que ofereçam uma visão abrangente das principais questões relacionadas com as aplicações atuais, desafios e futuras direções de investigação. Dessa forma, os autores têm como objetivo principal preencher esse vazio oferecendo uma análise sistemática de redes de literatura (SLNA) das contribuições recentes da tecnologia *blockchain* na gestão de cadeias de valor agrícolas. A SLNA é constituída por dois métodos: revisão sistemática de literatura (SLR) e análise de redes de citações (CNA), que juntas, maximizam as vantagens relacionadas a cada uma delas:

- SLR: fornece um método reprodutível e rigoroso que é aplicado neste estudo para selecionar os estudos mais relevantes e de alta qualidade da literatura anterior da tecnologia *blockchain* na gestão da cadeia de valor agroalimentar.
- CNA: oferece uma abordagem baseada em evidências para identificar os estudos mais citados nas bases de dados selecionadas, revelando as contribuições

na construção da teoria da tecnologia *blockchain* na gestão da cadeia de valor agroalimentar, bem como sugerindo direções de pesquisas futuras que podem facilitar a aplicação da tecnologia *blockchain* para a gestão da cadeia de valor agroalimentar.

Inicialmente, ao aplicar o SLNA, foi necessário formular as perguntas que conduziram a pesquisa. Elas foram:

1. Quais são as principais aplicações da tecnologia *blockchain* que tem sido desenvolvida na gestão de cadeia de valor agrícolas?
2. Quais são os principais desafios para a aplicação da tecnologia *blockchain* na gestão da cadeia de valor agrícola?
3. Quais são as lacunas de pesquisa e as direções futuras de investigação para a aplicação da tecnologia *blockchain* à cadeia de valor agrícola?

Com as perguntas formuladas, o próximo passo foi definir qual seria a base de dados para que a pesquisa fosse feita, sendo escolhidas oito:

1. *Sciencedirect*;
2. *Web of Science*;
3. *Scopus*;
4. *Taylor & Francis Online*;
5. *Wiley Online Library*;
6. *Emerald*;
7. *Google Scholar*;
8. *IEEE Xplore*.

Dado que o objetivo desta investigação é identificar as principais questões relacionadas com as aplicações da tecnologia *blockchain* na gestão da cadeia de valor agroalimentar, foi utilizada uma combinação de “*blockchain*” e “gestão da cadeia de valor agroalimentar”, com todos os termos relacionados. O estudo inicial com as palavras-chave especificadas e acesso aberto na base de dados selecionada de 2008 até 2018 resultou em uma amostra preliminar de 632 contribuições, de onde, depois de um processo de filtragem das contribuições mais importantes, foram selecionados 62 estudos e, após a adição de nove estudos chave não considerados anteriormente, totalizou 71 contribuições. A partir desta amostra, foi possível desenvolver uma CNA utilizando o software para visualização e exploração de grafos e redes, *Gephi*. Uma rede de 71 nós foi construída, com uma divisão de sete conjuntos de diferentes cores em sua representação gráfica, em que cada cor representa uma aplicação principal discutida. Alguns artigos propõem a exploração dos principais desafios e futuras pesquisas, enquanto outros focam na perspectiva da rastreabilidade. Alguns propõem modelos e outros focam no desenvolvimento da tecnologia *blockchain* em ambiente corporativo. No entanto, o artigo mais citado é o TIAN (2016). Vale ressaltar que a maior parte dos pesquisadores consideram a tecnologia *blockchain* uma vantagem competitiva para a cadeia de valor agrícola para ganhar confiança dos consumidores. A pesquisa mostra que muitos autores tentaram relacionar a tecnologia *blockchain* com *IoT*. Depois desse processo, foi feita uma análise temática, que consiste em um método para identificar, analisar e relatar padrões (temas) nos dados, que fornece habilidades essenciais que serão úteis para conduzir muitas outras formas de análise qualitativa.

Seguindo o processo de análise temática, dividiu-se a literatura da tecnologia *blockchain* na gestão da cadeia de valor agroalimentar com base nos seguintes temas:

1. Aplicações atuais da tecnologia *blockchain* na gestão da cadeia de valor agroalimentar;
2. Os desafios da aplicação da tecnologia *blockchain* na gestão da cadeia de valor agroalimentar.

Foi feita também uma análise da literatura das aplicações da tecnologia *blockchain* na cadeia de valor agrícola classificando-as em quatro temas distintos: rastre-

abilidade, segurança da informação, manufatura e gestão sustentável de água. Em cada tema, foram analisadas as principais contribuições da literatura e apresentando, no geral, perspectivas positivas.

### **3.6 Avaliação da Técnica de *blockchain* na Rastreabilidade na Agroindústria a Sucroenergética**

Neste artigo, foi utilizada a tecnologia *blockchain* para desenvolver um protótipo computacional de rastreamento e compartilhamento de dados e informações dentro da cadeia produtiva do setor sucroalcooleiro atendendo às necessidades de interoperabilidade e segurança de informação, e avaliando as oportunidades e desafios existentes para a utilização dessa tecnologia tanto no setor agrícola e industrial como também no setor administrativo e comercial.

Nesse contexto, a tecnologia *blockchain* também pode facilitar a prática de canaviais inteligentes dentro de um esforço da indústria açucareira para melhorar a sustentabilidade e rastreabilidade de seus produtos permitindo, assim, que todos os atores participantes da cadeia, incluindo os consumidores finais, tenham acesso a informações seguras da proveniência e sustentabilidade dos produtos gerados em toda a cadeia produtiva. Essa tecnologia também pode impactar positivamente a governança, permitindo que políticas públicas para o setor sejam mais assertivas. Para implementar o protótipo de *blockchain*, neste trabalho foi utilizada a plataforma *Ethereum*, cujo ambiente de desenvolvimento *Remix* permitiu montar as transações envolvidas via linguagem de programação *Solidity*.

### **3.7 O Uso da Tecnologia *blockchain of Things* na Cadeia Produtiva do Café**

O sétimo artigo de referência é o MENEZES (2022), que apresenta os grandes desafios enfrentados nas cadeias produtivas de café atualmente, propondo a utilização

da tecnologia *blockchain*, juntamente com a *IoT* e *BCoT* (*Blockchain of Things*), como solução. No trabalho, investigou-se projetos reais que utilizam *IoT* e *blockchain* para garantir rastreabilidade de dados no que diz respeito ao histórico do produto. O autor apresenta fundamentação teórica relativa à cadeia produtiva do café, ao *blockchain*, à *IoT* e à *BCoT*. Como resultado da pesquisa, são encontradas diversas iniciativas: *CoffeClass*, *WelCoss*, *AliveTech*, Detecção de Pragas da iAgro, *Plugfield*, *AgroSmart* e *Thank my Farmer*. Tais projetos evidenciam o valor gerado pela aplicação dessas tecnologias na cadeia produtiva do café.

### **3.8 Possibilidades de Uso de *blockchain* em Fluxos Informacionais de Cadeias Produtivas**

O propósito do artigo é identificar as potencialidades do *blockchain* como um modelo de apoio à infraestrutura de transações de dados e informações em uma cadeia de suprimentos, enumerando suas possíveis aplicações para esse fluxo informativo. Para isso, foi realizada uma revisão teórica em artigos científicos obtidos nas bases de conhecimento *SCOPUS*, *Elsevier* e *IEEE Xplore*. A análise do corpo teórico foi conduzida através da aplicação do método de Análise de Conteúdo, utilizando a categoria de análise. Os resultados da pesquisa apresentam seis categorias que representam as perspectivas de utilização do *blockchain* no contexto examinado:

1. Rastreabilidade dos dados;
2. Integridade dos dados;
3. Auditoria e transparência dos dados;
4. Redução das perdas de informação;
5. Integração com dispositivos da Internet das Coisas e outros sistemas;
6. Padronização das representações digitais.

### 3.9 *Blockchain and Agricultural Supply Chains*

#### *Traceability: Research Trends and Future Challenges*

O artigo foca na aplicação de *blockchain* nas cadeias de suprimentos de agricultura para garantir rastreabilidade de comida, que tem se tornado um importante tópico com diversos *frameworks* propostos na literatura, uma vez que há uma movimentação no sentido de evitar escândalos alimentares. No contexto agrícola, a necessidade de rastreabilidade é motivada por diversos fatores: garantia de parâmetros adequados no que diz respeito à pesticidas e fertilizantes em fruta e vegetais, controle de hormônios e outras substâncias utilizadas em fase de cultivo e controle de substâncias indesejadas em geral. Portanto, o artigo foca em *blockchain* nas cadeias de suprimentos, focando na rastreabilidade de comida.

A metodologia de pesquisa do artigo se baseia em três passos:

1. Coleta de dados e análise: esta etapa diz respeito a artigos científicos que utilizam as palavras chave apropriadas. Elas são analisadas buscando elucidar o número de artigos e citações relacionadas por ano, o tipo de documento, a localização geográfica dos autores, estatísticas de palavras chaves e as tendências no que diz respeito a pesquisa;
2. Seleção de dados: na segunda fase há um foco no subgrupo das tendências de pesquisas identificadas e na seleção do que é mais interessante;
3. Revisão de literatura e discussão: a terceira fase é a revisão dos artigos selecionados e a discussão sobre os problemas, tendências de pesquisa, desenvolvimentos futuros e/ou desafios.

Iniciando a coleta de dados e análise, houve uma pesquisa utilizando a palavra "blockchain" em canais de artigos científicos e como resultado produziu-se um gráfico de artigos publicados e citações, ambos por ano entre 2013 e 2019. A verdadeira explosão foi registrada no triênio 2016-2018, momento histórico em que esta tecnologia teve forte expansão em diversos contextos. Ao pesquisar "blockchain" e "agricul-

tura”, obteve apenas 38 resultados, apresentando uma contribuição muito recente e ao mesmo tempo, crescente, onde a maioria dos documentos são documentos de conferência, seguidos por artigos e, por fim, capítulo de livro. Também foi analisada a frequência em que algumas palavras chave aparecem. A palavra que mais aparece é *blockchain*, seguida por ”*internet of things*” e depois ”*smart contract*”. Uma análise geográfica também foi feita, onde foi visto que os Estados Unidos e a China são os países mais ativos, seguidos da Índia e da Itália, no que diz respeito a publicações. Foi feita uma rede de análise visando mitigar erros e duplicações e as palavras mais importantes encontradas foram *blockchain* e agricultura, como esperado, mas algumas outras palavras também se mostram relevantes, como: ”*Smart Agriculture, Internet of things, sustainability, traceability, Ethereum & Smart contracts*.”

Na segunda fase, a de seleção de dados, o foco vai para rastreabilidade, que é nova e se mostra pouco explorada. Na seção de revisão de literatura e discussão, o autor discute sobre os artigos selecionados a partir dos métodos aplicados. O primeiro, XIE *et al.* (2017), o foco é em segurança no armazenamento de dados, onde é proposto uma estrutura de armazenamento em cadeia dupla, caracterizado por uma estrutura de dados em cadeia para armazenamento de *hashs* de transações de *blockchain* e a cadeia de *blockchain* própria. A estrutura possui três camadas principais: camada de sensoriamento, camada de armazenamento de dados e camada de aplicação. O objetivo é garantir que os dados dos produtos de agricultura não sejam adulterados ou destruídos. Outro artigo referido é o CARO *et al.* (2018), que mostra como o atributo de descentralização que a tecnologia *blockchain* dispõe pode ser uma alternativa para as infraestruturas centralizadas utilizadas atualmente em cadeias produtivas agrícolas que utilizam sistemas de rastreabilidade baseados em *IoT*. Para isso, a AgriBlockIoT se mostra como uma solução ideal. Em HANG *et al.* (2018), é proposto outro sistema de rastreabilidade de alimentos baseado em *blockchain* e *IoT*, onde todos os atores de um ecossistema de agricultura inteligente estão envolvidos.

Já em HUA *et al.* (2018), é proposta uma solução que busca mitigar as questões da confiabilidade dos dados e a integração entre diferentes atores dos sistemas de informação com uma plataforma *peer-to-peer* distribuída. Os autores desenharam

duas estruturas no sistema de rastreabilidade em agricultura: informações básicas de plantação (contém dados típicos de um lote de produção) e registro de proveniência (caracterizado pelas informações sobre uma operação de agricultura). Com isso, os dois problemas são solucionados, já que os dados, uma vez inseridos na plataforma, não podem ser modificados. Além disso, todos os atores foram envolvidos desde o começo, logo não houve problemas de incompatibilidade na estrutura de dados.

Em SALAH *et al.* (2019b), os potenciais do *blockchain Ethereum* e os contratos inteligentes são explorados na cadeia produtiva da soja. São propostos uma arquitetura e um funcionamento do sistema em que existem diversos aspectos gerais, fazendo com que ele seja aplicável não só na cadeia produtiva da soja, adicionando integridade, segurança e confiabilidade de dados.

É apresentada a *Harvest Network*, uma aplicação de rastreabilidade de alimentos que integra *blockchain* e *IoT*, utilizando protocolo GS1 e contratos inteligentes. Com o intuito de tornar a cadeia produtiva agrícola mais transparente, os autores de KIM *et al.* (2019), propuseram "*food bytes*", uma estrutura de dados que permite que os consumidores sejam totalmente informados sobre a origem do produto final.

Outro trabalho de pesquisa, o ARENA *et al.* (2019) analisa e identifica 13 possibilidades para a adoção da tecnologia *blockchain* em cadeia de suprimentos agrícolas: anonimato e privacidade, auditabilidade, banco de dados descentralizado, imutabilidade, melhor gestão de risco, proveniência, custos de transação reduzidos, prazos de liquidação reduzidos, banco de dados seguro, contratos inteligentes, rastreabilidade, transparência.

Em ARENA *et al.* (2019), é apresentada BRUSCHETTA, uma aplicação baseada em *blockchain* e *IoT* para rastreabilidade e certificação de uma cadeia de suprimentos de azeite extra virgem (*EVOO - Extra-Virgin Olive-Oil*). A cadeia toda é rastreada, sendo possível para o consumidor acessar todas as informações relativas à produção. Já em ?, o sistema de rastreabilidade baseado em *blockchain* proposto se destina a qualidade e segurança na produção de chá. O *framework* do sistema tem três camadas principais: camada de dados, camada lógica comercial e camada



de apresentação, onde são utilizadas as tecnologias *MySQL*, *Ethereum blockchain* e código *QR*.

Em YADAV e SINGH (2019), um aplicativo de celular baseado em *blockchain* é proposto para solucionar determinados problemas de fazendeiros indianos. O aplicativo possui um módulo de rastreabilidade, um de monitoramento baseado em contrato inteligente e um sistema de informação e pode levar o setor agrícola indiano a um aumento significativo na qualidade dos produtos oferecidos aos consumidores.

O texto discute os principais problemas atuais que as tecnologias de rastreamento apresentam, comentando como a tecnologia *blockchain* pode servir de solução para cada um deles. Além disso, provoca questionamentos relativos à aplicação da tecnologia *blockchain* no setor agrícola, uma vez que ainda é muito recente a sua aplicação.

A conclusão é que o uso de *blockchain* em cadeias de suprimentos agrícolas para rastreabilidade está em forte crescimento, dado o elevado número de contribuições científicas publicadas nos últimos anos. No entanto, no que diz respeito ao setor agrícola, pode ser considerado ainda em sua fase inicial, uma vez que há a ausência quase total de estudos de caso reais. Desse modo, não está claro como uma cadeia de abastecimento agrícola pode obter benefícios dos pontos de vista econômico e organizacional através da implementação de uma plataforma real baseada em *blockchain*. Além disso, seria necessário aprofundar a potencial propensão das partes interessadas para a adoção desta tecnologia; substancialmente, ainda é necessário muito esforço para aumentar a credibilidade e a reputação da *blockchain*.

### ***3.10 The Rise of Blockchain Technology in Agriculture and Food Supply Chains***

Neste trabalho, explorou-se como a tecnologia *blockchain* está remodelando a agricultura e a cadeia de suprimentos de alimentos. Examinou-se projetos e iniciativas em andamento, investigando suas implicações, desafios e níveis de maturidade potencial. A investigação destaca o potencial do *blockchain* para melhorar a transparência nas cadeias de suprimentos de alimentos, evidenciado por inúmeras

iniciativas que abordam diversos produtos alimentícios. No entanto, significativos obstáculos persistem, dificultando a adoção generalizada entre agricultores e sistemas. Esses obstáculos incluem complexidades técnicas, deficiências educacionais e restrições regulatórias.

### ***3.11 An Agri-food Supply Chain Traceability System for China Based on RFID & Blockchain Technology***

O texto se inicia enumerando alguns incidentes relacionados a intoxicação alimentícia e os danos que essa questão causa. Munido dessa motivação, em conjunto com a grande porcentagem de perda de comida na China, o autor indica que a cadeia produtiva alimentícia chinesa ainda pode melhorar bastante. Dessa maneira, é proposto um sistema de rastreabilidade para cadeia produtiva de alimentos baseada nas tecnologias *RFID* e *blockchain*. Para auxiliar os mercados chineses de alimentos a melhorarem sua segurança e qualidade diminuindo simultaneamente perdas no processo.

Depois de apresentar as principais referências literárias relacionadas a rastreabilidade da cadeia produtiva e *RFID*, o autor discute que os trabalhos feitos até aquele momento focam muito em funções técnicas do *RFID* e sua integração com outras tecnologias. Além disso, a maior parte destes estudos aborda somente as etapas de distribuição e armazenamento. Somado a isso, os trabalhos não consideraram a confiabilidade dos sistemas e de sua dependência dos membros da cadeia. Para tal, é sugerida a união da tecnologia *RFID* com a tecnologia *blockchain* por meio do sistema proposto pelo autor.

O autor apresenta a tecnologia *RFID* e suas aplicações até hoje nas cadeias produtivas alimentícias. Apresenta também o *blockchain*, seu funcionamento e sua estrutura. Em seguida, há uma análise dos benefícios da tecnologia *blockchain* e das possibilidades da tecnologia *RFID*, quando aliada a alguma outra tecnologia, como *GIS*, *GPS* e entre outras. O texto também analisa como a utilização do *blockchain*

é capaz de resolver a questão da centralização do sistema.

Além disso, o texto compara cadeias produtivas com e sem o sistema de *RFID* e *blockchain* e pontua suas vantagens e desvantagens. O sistema de rastreabilidade centralizado pode trazer problemas de confiança, como fraude, corrupção e falsificação de informações. O *blockchain* é uma solução para isso. As vantagens de adotar um sistema com *RFID* e *blockchain* em uma cadeia produtiva alimentícia se dá por meio de três principais benefícios: gestão de rastreabilidade e acompanhamento, aumento da credibilidade do produto alimentício e permeabilidade dentro da cadeia, no que diz respeito a membros.

Os dados são transparentes e abertos, o acompanhamento em tempo real e o combate contra produtos falsos. As desvantagens são o alto custo e a imaturidade da tecnologia *blockchain*.

O autor apresenta o processo de construção do sistema de rastreabilidade e acompanhamento baseado nas tecnologias *blockchain* e *RFID*. Ele se baseia em quatro etapas: produção, processamento, gestão de armazenamento, distribuição de cadeia fria e vendas. Em todas elas, é evidenciado como as tecnologias *RFID* e *blockchain* trabalham juntas durante todo o processo.

# Capítulo 4

## Proposta

A falta de comunicação entre as partes da cadeia produtiva em tempo real, constitui um gargalo relevante, que muitas vezes traz atrasos, perdas de informação e divergências em acordos contratuais. Dessa forma, o acompanhamento e auditabilidade no contexto industrial se tornam cada vez mais necessários. Em geral, as cadeias produtivas atuais não apresentam nenhum sistema que possa verificar, auditar, ou rastrear suas etapas em tempo real. No entanto, os recentes desenvolvimentos tecnológicos da indústria trouxeram novas oportunidades de implementação desse tipo de sistema. Por isso, como visto no Capítulo 1, este trabalho implementa uma *blockchain* que simula sinais provenientes de uma cadeia produtiva. Para exemplificar com mais propriedade, utilizamos a cadeia produtiva do leite.

### 4.1 Cadeia Produtiva do Leite

A seguir, iremos explorar o modelo de cadeia produtiva do leite que foi utilizado no trabalho. As etapas que a constituem são apresentadas a seguir:

#### 4.1.1 Ordenha

Em geral, o processo de produção do leite *UHT* (*Ultra High Temperature*) se inicia com os pequenos produtores rurais. O operador de captação de leite coloca a vaca leiteira na posição correta, lava seus tetos e, para estimulá-los, faz o teste do jato ou teste da caneca, que consiste em aplicar duas ou três jataadas prolongadas em cada teto da vaca despejando em uma caneca para verificar o bom fluxo de leite.

Em seguida, é aplicada nos tetos da vaca uma solução de iodo *pré-dipping*, com o intuito de desinfetá-los e se faz uma pausa de 15 segundos para que a solução aja da forma correta. É feita uma nova lavagem dos tetos e os tubos de sucção da ordenhadeira são colocados para que o processo de captação se inicie.

A qualidade desse leite ordenhado depende diretamente das condições de higiene do local e dos operadores, da saúde e nutrição da vaca. Além disso, a espécie do animal também influencia na qualidade do leite que será produzido. No que diz respeito às vacas, dependendo da raça é possível ter um leite com mais proteínas ou mais lactose ou em maiores quantidades ou até mais gordura.

Uma vez colhido, o leite vai para tanques de resfriamento por expansão direta onde sua temperatura fica entre 2 e 4 graus, o que ajuda a evitar a proliferação de bactérias. O leite pode ficar armazenado nesses tanques até 48 horas e esse processo é chamado de granelização ou resfriamento do leite e é essencial para a manutenção de sua qualidade, para o controle de sua acidez e também para a otimização da logística de transporte da fazenda para a fábrica.

#### **4.1.2 Transporte**

O responsável pelo transporte chega em um caminhão com um tanque isotérmico, para preservar a temperatura. Esse tanque possui uma mangueira atóxica que é conectada com os tanques de expansão para fazer o bombeamento. Antes de se fazer a transferência do leite do tanque de expansão para o tanque isotérmico, é feita uma análise nesse leite para ver se ele não teve nenhum problema e haverá uma amostra coletada para as futuras análises de laboratório e estando tudo isso de acordo com os parâmetros de qualidade aceitáveis é medido e registrado o volume e esse leite vai para dentro do caminhão. Nesse momento, o produtor deixa de participar da cadeia produtiva e o leite é transportado para o local da indústria onde será processado.

#### **4.1.3 Fábrica**

Ao chegar na fábrica, o caminhão é lavado, se aproxima da rampa de descarregamento e, antes de ser descarregado, o leite é analisado novamente para verificar se está compatível com os padrões de qualidade exigidos pela empresa. São cole-

tadas amostras de cada compartimento desse caminhão e o volume é verificado. O leite é descarregado e encaminhado via tubos e bombas para ser pasteurizado imediatamente e depois de resfriado, é colocado em tanques e é formado um lote, onde é possível ter toda sua rastreabilidade até a produção do produto final. O processo de pasteurização consiste em aquecer o leite a uma temperatura entre 72° C e 75° C por um tempo de 15 a 20 segundos.

Uma vez que a amostra analisada é liberada pelo laboratório central, atendendo todos os requisitos de qualidade físico-química, ele vai ser esterilizado, com o intuito de eliminar 99,9% de qualquer tipo de bactéria que possa estar viva neste leite ainda.

O processo de esterilização é análogo ao processo de pasteurização, no entanto o leite é exposto a temperaturas de 130° C a 150° C e o tempo é menor, isto é, 2 a 4 segundos.

#### **4.1.4 Transferência para Caixa de Leite**

O próximo passo é transferir esse leite de forma asséptica para a caixa de leite de um litro, que tem camadas de papel cartão, alumínio e polietileno e que o recebe enquanto é montada. Em seguida, é colocada em uma caixa de papelão maior com doze unidades e um grupo de vinte e uma dessas caixas maiores formam um pallet. Os pallets são transportados para um armazém de estocagem ou centro de distribuição.

#### **4.1.5 Logística**

Em seguida, a empresa de logística parceira é responsável por distribuir esses *pallets* para os mercados, onde o consumidor final pode fazer a aquisição do produto. Diariamente em um centro de distribuição, é feita a coleta de 3000 caixas de leite de 1 litro por carreta, com aproximadamente 10 carretas por dia, que são distribuídas nos diversos supermercados.



Figura 4.1: Esquemático das etapas da cadeia produtiva do leite com as variáveis evidenciadas.

## 4.2 Modelo

Tendo em vista a cadeia de produção descrita, o modelo deste trabalho se baseia em criar uma estrutura *blockchain* que rastreie todas essas etapas para garantir a qualidade e a quantidade prometida por todas as partes envolvidas, rastreando seus processos e produtos.

### 4.2.1 Ordenha

Inicialmente, antes do processo de colheita de leite começar efetivamente, a fim de enriquecer as informações do processo e dar maiores possibilidades de rastreabilidade, é necessário registrar quais participantes do processo estão envolvidos. Segue a forma como as informações foram coletadas para serem registradas, isto é, qual

tecnologia ou instrumento foi utilizado para colher essas informações e em seguida será explorada como funciona esse registro.

- Vaca → Atualmente a identificação de vacas é feita através de brincos, *chips* e, de forma mais arcaica, por meio de marcação de ferro. Existem novas possibilidades de mecanismos de identificação, como por exemplo reconhecimento facial e identificação do focinho, que no caso das vacas, equivale a impressão digital do ser humano. Ambas tecnologias utilizam inteligência artificial e mantêm uma base de dados com todas as vacas de uma fazenda. Neste trabalho utilizou-se brincos com um *qr* codes únicos para cada vaca, sendo cada *qr* code atrelado ao número de quatro dígitos de identificação da vaca.
- Tanque → Ao se tratar do tanque, utilizou-se a leitura do *qr* code também, assim como no caso da vaca.
- Fazenda → Cada fazenda tem uma localização específica que é identificada por *GPS* no início do processo de armazenamento. Sua identificação se dá por um número de quatro dígitos.
- Pequeno produtor → Uma vez identificada a fazenda, por ser atrelada a um produtor específico, a *id* do produtor correspondente é registrada como um número de quatro dígitos.

A leitura do *qr* code da vaca é feita, bem como do tanque, que possui o *gps*, identificando tanto a fazenda quanto o pequeno produtor. Uma vez coletados esses dados, o processo de ordenha se inicia e o leite é transferido para o tanque. Com a transferência completa, os tubos de sucção são desconectados e o processo de resfriamento que leva a temperatura do leite à faixa de valor desejada se inicia e quando ela atinge pelo menos 4 graus celsius, a temperatura é monitorada, se registra a data e horário e se envia esses dados ao *blockchain*. Essas medidas são feitas de forma automática: o volume é medido por meio de um sensor de nível e a temperatura por um sensor de temperatura.



### 4.2.2 Transporte

Durante todo o processo de armazenamento, a temperatura é medida de forma contínua e caso não saia da faixa de 2 a 4 graus celsius, é registrado que seus limites foram respeitados. Caso contrário, é registrado o não cumprimento. Quando o caminhão que faz o transporte até a fábrica chega na fazenda e a análise do leite é feita, o resultado da qualidade e do volume do leite são registrados em uma transação em um bloco do *blockchain*. Além disso, também é registrado o tempo de armazenamento daquele leite e validado se a restrição de máximo armazenamento de 48 horas foi respeitada. A identificação do caminhão, da empresa de transporte e do responsável pelo transporte são registrados. Os métodos e instrumentos utilizados para fazer tais medições estão descritos abaixo:

- **Análise** → Neste modelo, iremos utilizar a tecnologia SondaLeite para fazer a análise do leite cru. O sistema digital permite acesso aos dados da análise de forma remota via conexão de rede sem fio (*Wi-fi*). Ela é capaz de detectar com precisão e em segundos um problema multifatorial que traz grandes prejuízos à cadeia produtiva brasileira, a incidência do leite instável não ácido (Lina). Ela utiliza feixes de luzes para constatar, em 25 segundos, as diferentes condições do leite cru, se normal ou Lina. Muitos estudos associam o Lina a fatores nutricionais, deficiência nutricional, restrição alimentar, deficiência de energia, excesso de proteína associado à deficiência energética, excesso de proteína degradável no rúmen, deficiência de proteína metabolizável, acidose metabólica, acidose ruminal, alterações na dieta, vacas em estágio inicial ou final de lactação. Além de monitorar a qualidade do leite, com resultados confiáveis, pode ser incrementado para múltiplas funções, como detectar mastite e também adulterações. Essa análise é feita de forma automática. Somado a isso será colhida uma amostra para que o laboratório central da fábrica analise posteriormente.
- **Caminhão** → A identificação do caminhão de leite é feita por *QR* code. O caminhão possui um *QR* code específico em sua carroceria, que será lido por leitor de porte do pequeno produtor.
- **Responsável pelo transporte** → O responsável pelo transporte possui um

crachá de identificação com um *QR code*, que tem atrelado a si a identificação da empresa.

- Empresa de transporte → A identificação da empresa de transporte é atrelada a identificação do responsável pelo transporte.

### 4.2.3 Fábrica

Quando o caminhão chega na fábrica, é feita mais uma análise de qualidade utilizando a tecnologia SondaLeite, mais uma medição de volume e é registrado o momento de chegada e descarregamento do leite. Todas as medidas foram feitas de forma análoga às etapas anteriores. Além disso, é colhida uma amostra do leite e é levada para o laboratório central para análise. O passo seguinte é o laboratório central aprovar a qualidade físico-química das amostras e fazer a liberação e identificação do lote. Em seguida, o leite passa pelo processo de pasteurização e tendo em vista que o processo consiste em expor o leite a determinadas temperaturas em intervalos de tempo específicos, esse processo é medido por meio de um sensor de temperatura, se acompanhando simultaneamente o tempo. Caso esse processo ocorra da forma correta, o leite é considerado pasteurizado. Caso o processo não ocorra da forma adequada, segundo os dados provenientes dos sensores, o leite será considerado Não Pasteurizado. A medição do processo de esterilização é análoga ao processo de pasteurização, bem como seus estados considerados, isto é, Esterilizado ou Não Esterilizado.

### 4.2.4 Transferência para Caixa de Leite

Após a esterilização, as caixas de leite são montadas de forma automática em uma esteira de produção, sem a necessidade de intervenção humana. Enquanto as caixas estão sendo montadas, o leite é enviado via tubo para um tanque próximo às máquinas de montagem das caixas e, de forma asséptica, é transferido para as mesmas. Cada caixa de leite possui um *QR code* único criado no momento de sua produção. Esse *QR code* é atrelado a um número de identificação único, que é atribuído ao lote do leite que embala. Uma vez finalizado o processo de transferência do leite para a caixa de um litro, um grupo de 12 caixas é formado, separado e

embalado em caixas de papelão, que possuem um único *QR code* único com seu número de identificação atrelado. As caixas de papelão seguem pela esteira até serem empilhadas no *pallet*, que também contém um *QR code* próprio atrelado aos dados de interesse: o lote atrelado, a ordem em que foi envasado e o número de identificação do *pallet*. Cada *pallet* possui vinte e uma caixas de papelão e uma vez finalizado esse processo, o *pallet* é transferido para a estocagem.

- *ID* caixa de leite → quando a caixa de leite está sendo produzida um *QR code* é criado. Posteriormente, com o leite já dentro da caixa, a caixa passa pela esteira e o *QR code* é lido automaticamente e para cada caixa que tem seu *QR code* lido, uma *ID* é atribuída e da mesma forma, com o leite de lote já conhecido dentro do tanque em que o leite será transportado para a caixa, a *ID* é atribuída ao lote.
- *ID* caixa de papelão → quando um conjunto de doze caixas de um litro passam pela esteira, esses são separados, tem um seu *QR code* lido e as 12 *ID*'s são atribuídas a uma caixa de papelão. no momento de confecção da caixa de papelão, é criado e lido um *QR code* para a caixa e recebe as *ID*'s das caixas de um litro.
- *ID Pallet* → É criado um *QR code* para cada *pallet*. Esse *QR code* é lido e a ele é atribuída uma *ID*. Vinte e uma caixas de papelão chegam pela esteira e são empilhadas no *pallet*. Antes de serem empilhadas, suas *ID*'s são lidas e atribuídas a *ID* do *pallet*.

#### 4.2.5 Logística

Tendo em vista que o caminhão está sendo acompanhado via *GPS*, quando o mesmo chega na fábrica, o *timestamp* do momento de chegada é registrado. Para iniciar o carregamento dos caminhões, é necessário antes ler o *QR code* que se encontra no crachá do responsável pela entrega. Uma vez feita essa leitura, os dados são guardados no servidor local para posteriormente serem colocados no *blockchain* e a abertura das portas do caminhão é liberada. O caminhão possui uma balança interna que permite aferir a quantidade de *pallets* presentes e, além disso, os *QR codes* referentes aos *pallets* presentes no caminhão precisam ser lidos para que o caminhão

siga viagem. Uma vez que o caminhão é carregado, os dados guardados no servidor local são enviados para a *blockchain* e o trajeto até os mercados é acompanhado via *GPS*. Ao chegar no mercado, a *timestamp* de chegada, a *ID* do mercado, a *ID* do responsável pelo descarregamento por parte do mercado e as *ID*'s dos *pallets* descarregados são registrados. Dessa forma, a etapa de logística é dividida em duas partes. Segue a seguir a primeira parte:

- *Timestamp* → O armazém possui uma localização específica e imutável, com coordenadas únicas. O caminhão, por sua vez, possui um sistema de acompanhamento de localização por *GPS*. Quando as localizações coincidem, o momento é registrado na *timestamp*.
- *ID* armazém → Ao chegar no armazém, para que o processo de carregamento se inicie, é necessário que o *QR code* no crachá do responsável pela entrega seja lido. O próprio leitor está atrelado a um armazém específico. Dessa forma, quando esse processo de leitura acontece, o *ID* do armazém é registrado.
- *ID* responsável pela entrega → No processo de leitura do crachá, a *ID* do responsável pela entrega é registrada.
- *ID* empresa de logística → A *ID* da empresa de logística está atrelada à *ID* do responsável pela entrega. Dessa forma, no processo de leitura do crachá, além de se obter a *ID* do responsável pela entrega, obtém-se e registra-se também a *ID* da empresa de logística.
- *ID* caminhão → O caminhão possui em sua carroceria um *QR code* único e específico que é lido antes do início do carregamento. Esse *QR code* está atrelado à *ID* do caminhão.
- *ID*'s *pallets* → Para que se saiba quais *pallets* estão sendo carregados, bem como a quantidade, é feita a leitura de todos os *QR codes* dos *pallets* logo antes de entrarem no caminhão. Essa *ID* só é validada depois que a balança tem como resultado o peso equivalente aos *pallets* lidos.

Segue a seguir a segunda parte:

- *Timestamp* → Cada mercado possui uma localização específica e imutável, com coordenadas únicas. O caminhão, por sua vez, possui um sistema de acompanhamento de localização por *GPS*. Quando as localizações coincidem, o momento é registrado na *timestamp*.
- *ID Mercado* → Ao chegar no mercado, para que o processo de descarregamento se inicie, é necessário que o *QR code* no crachá do responsável pela entrega seja lido. O próprio leitor está atrelado a um mercado específico. Dessa forma, quando esse processo de leitura acontece, a *ID* do mercado é registrada.
- *ID responsável pela entrega* → No processo de leitura do crachá, a *ID* do responsável pela entrega é registrada.
- *ID empresa de logística* → A *ID* da empresa de logística está atrelada à *ID* do responsável pela entrega. Dessa forma, no processo de leitura do crachá, além de se obter a *ID* do responsável pela entrega, obtém-se e registra-se também a *ID* da empresa de logística.
- *ID caminhão* → O caminhão possui em sua carroceria um *QR code* único e específico que é lido antes do início do descarregamento. Esse *QR code* está atrelado à *ID* do caminhão.
- *IDs pallets descarregados* → Para que se saiba quais *pallets* estão sendo descarregados, bem como a quantidade, é feita a leitura de todos os *QR codes* dos *pallets* logo antes de saírem do caminhão. Essa *ID* só é validada depois que a balança tem como resultado o peso equivalente aos *pallets* lidos.
- *ID do responsável mercado* → Além da leitura do responsável pela entrega, também é lido o *QR code* do crachá do funcionário do mercado responsável por receber os *pallets*.

# Capítulo 5

## Prova de Conceito

Neste capítulo será abordada a prova de conceito, que se trata da demonstração da possibilidade de validação de uma ideia (ou conceito), seja na área de TI ou na de negócios. Será apresentada uma prova de conceito do *blockchain* aplicado à cadeia do leite, contemplando grande parte das funcionalidades reais e, uma vez que existe a restrição da falta de acesso à uma cadeia real, todos os dados que seriam sensorizados foram emulados respeitando valores plausíveis. A cadeia produtiva do leite foi detalhadamente contemplada no Capítulo 4. A importância da prova de conceito se deve à identificação de possíveis problemas e gargalos no desenvolvimento de um projeto, permitindo que se faça ajustes e melhorias para aumentar a eficiência do resultado final.

O objetivo da prova de conceito neste trabalho é definir a viabilidade da solução apresentada, isto é, definir a possibilidade de implementação de uma *blockchain* para cadeia do leite, dadas as restrições já mencionadas anteriormente. Para implementar esta *blockchain*, será utilizada a linguagem de programação Python, na versão python 3. Além disso, é utilizado o Flask, um pequeno *framework web* escrito em Python. O flask é classificado como um *microframework* porque não requer ferramentas ou bibliotecas particulares, mantendo um núcleo simples, porém, extensível. Além disso, serão utilizados dois arquivos do tipo html que utilizam código com a linguagem de programação Javascript.

Essa *blockchain* criptografa todas as informações sensorizadas, isto é, informações relativas à qualidade, quantidade, tempo e processos. Com isso, atende ao requisito

de confiabilidade e rastreabilidade. Além disso, por se tratar de um sistema com a arquitetura de redes *peer-to-peer*, onde cada um dos nós da rede funciona tanto como cliente quanto como servidor, permitindo compartilhamentos de dados sem a necessidade de um servidor central, também é atendido o requisito de descentralização.

## 5.1 Dados Emulados

Neste trabalho, não haverá sensoriamento real. Dessa forma, todas as variáveis de interesse que teriam sido sensoriadas, são emuladas. Essas variáveis e seus intervalos reais são descritos a seguir separados pelas etapas às quais pertencem. Nesta descrição, haverá referências aos métodos utilizados para emulação, que serão melhor detalhados posteriormente no texto.

### 5.1.1 Ordenha

A seguir são apresentadas as variáveis e seus formatos a serem registrados na etapa de ordenha:

- *ID* Pequeno produtor: xxxx
- *ID* Fazenda: xxxx
- *ID* Vaca: [xxxx, . . . , xxxx]
- *ID* Tanque: xxxx
- Volume medido: xxx litros
- Data e horário de armazenamento: xx/xx/xxxx xx:xx

As *ID*'s apresentam quatro dígitos, como pode ser visto. Por isso, é possível registrar nove mil novecentos e noventa e nove de cada uma das entidades. Em relação ao volume ideal para um tanque de expansão, existem alguns diferentes tipos, com diferentes capacidades volumétricas. Neste caso, optou-se em adotar uma capacidade de 500 a 550 litros. Sendo assim, é necessário que aproximadamente 100 vacas sejam ordenhadas para que o tanque fique completo, já que elas são capazes

de prover de 5 a 6 litros de leite por dia em média. Por isso, a intenção é criar uma lista que registre 100 números de identificação relativos às vacas. Em relação à data e horário de armazenamento, estipulou-se que a ordenha seria feita entre os horários de cinco da manhã e meio-dia.

Neste modelo, as *ID's* Pequeno produtor, Fazenda, Vaca e Tanque foram geradas de forma aleatória, por meio de 4 números de 4 dígitos aleatórios. Para tal, foi criado o método "numero\_de\_quatro\_digitos" que utiliza a função random. A data e horário de armazenamento são também atribuídos de forma aleatória, procurando-se manter os dados entre os anos de 2019 e 2024 e entre os horários de 5 horas da manhã e meio-dia. Para isso, foi criado o método gen\_timestamp. Para o volume, foi desenvolvido o método "calcula\_v\_o", que utiliza a função random para gerar um valor aleatório na faixa desejada. O desenvolvimento dos três métodos estão descritos posteriormente no texto.

### 5.1.2 Transporte

A seguir são apresentadas as variáveis e seus formatos a serem registrados na etapa de transporte:

- *ID* Caminhão: xxxx
- *ID* Empresa de transporte: xxxx
- *ID* Responsável pelo transporte: xxxx
- O armazenamento respeitou os limites de temperatura? sim ][ não
- Armazenado a xx horas e xx minutos
- O armazenamento respeitou os limites de tempo? sim ][ não
- Análise de qualidade do leite I: Normal ][ Lina
- Volume medido antes de transferência para caminhão: xx litros

As *ID's* Caminhão, Empresa de Transporte, Responsável pelo transporte foram geradas de forma aleatória, por meio de 4 números de 4 dígitos aleatórios de forma análoga às *ID's* anteriores.



Em relação a faixa de temperatura ideal para o armazenamento do leite dentro do tanque, são considerados os valores de 2 a 4 graus celsius. Caso a temperatura do leite saia dessa faixa durante o armazenamento, a resposta da pergunta feita na transação é negativa. Para tal, consideramos uma probabilidade de 95% de chance de ser positiva. Criou-se o método "random\_signal" para gerar uma resposta binária com esta probabilidade de ser 1 e caso seja, seria registrado no *blockchain* que sim, a temperatura atendeu aos limites desejados durante o processo.

O tempo de armazenamento do leite dentro do tanque de resfriamento por expansão direta deve durar até no máximo quarenta e oito horas. Na implementação, ele é gerado de forma aleatória, entre as faixas de 24 e 50 horas. Para isso, foi criado o método "calcula\_t\_leite", que utiliza a função "random". Caso o limite de tempo tenha sido respeitado, isto é, caso o tempo de armazenamento não tenha ultrapassado 48 horas, o valor gerado é "sim". Para o caso contrário, o valor gerado é "não".

Em relação ao volume antes da transferência, foi criada uma função que utiliza o método "random\_signal" para gerar um valor binário com probabilidade de 95% de ser 1. Caso seja, o volume antes da transferência é igual ao volume medido no início do armazenamento. Para o caso contrário, o valor do volume antes da transferência é igual a 85% do volume do início.

O valor de análise de qualidade é gerado de forma análoga às respostas das perguntas relacionadas ao tempo e temperatura, com 95% de chance de ser "Normal" e 5% de chance de ser "Lina" e utiliza também o método "random\_signal". O desenvolvimento dos métodos estão descritos posteriormente no texto.

### 5.1.3 Fábrica

A seguir são apresentadas as variáveis e seus formatos a serem registrados na etapa relativa à fábrica:

- Análise de qualidade do leite II: Normal ][ Lina
- Volume medido ao chegar na fábrica: xxx litros

- *Timestamp* de chegada à fábrica: xx/xx/xxxx xx:xx
- Pasteurização completa: Sim ][ Não
- *Timestamp* Pasteurização finalizada: xx/xx/xxxx xx:xx
- Análise de laboratório central: Ok][Recusado
- *Timestamp* análise laboratório central: xx/xx/xxxx xx:xx
- *ID* lote: xxxx
- Esterilização completa: Sim ][ Não
- Data e horário de Esterilização finalizada: xx/xx/xxxx xx:xx

O processo de pasteurização vai medir a exposição do leite a uma temperatura elevada, para que se elimine grande parte das bactérias, e depois um resfriamento na sequência. Ao passar por esse processo, o leite é considerado pasteurizado. Portanto, pode-se pensar em um valor binário, indicando se o leite foi pasteurizado ou não. Se tratando do processo de esterilização, temos uma lógica binária semelhante à anterior.

O valor do volume medido ao chegar na fábrica é gerado de forma análoga ao volume antes da transferência. Os valores de análises de qualidade são gerados de forma análoga às respostas das perguntas relacionadas ao tempo e temperatura. O momento de chegada e descarregamento na fábrica é registrada como *timestamp* de chegada a fábrica e seu valor é gerado buscando deixar o tempo de transporte entre 2 e 5 horas desde o local onde foi colhido, na propriedade do pequeno produtor. Esse valor é gerado de forma análoga aos valores de registro de tempo anteriores. Os valores binários de pasteurização completa, análise de laboratório central e esterilização completa são gerados de forma análoga aos outros valores binários gerados anteriormente. Os intervalos entre os registros de datas se dão de forma que a pasteurização se dê três horas depois da chegada do caminhão à fábrica, a análise do laboratório central deve ser registrada uma hora e meia depois do processo de pasteurização e a esterilização deve acontecer 30 minutos depois da análise do laboratório central.

### 5.1.4 Transferência para Caixa de Leite

A seguir são apresentadas as variáveis e seus formatos a serem registrados na etapa relativa à transferência para a caixa de leite:

- *ID* Lote: xxxx
- *Pallets*: *Pallet* xxxx: Caixa Grande xxxx: [xxxx, xxxx, xxxx, xxxx, xxxx, xxxx, ... , xxxx, xxxx, xxxx], Caixa Grande xxxx. . .
- *ID* Centro de distribuição: xxxx

Nesta etapa, vemos que o *ID* do lote e a *ID* do centro de distribuição possuem quatro dígitos, assim como outros *ID*'s vistos anteriormente. No que diz respeito aos *pallets*, cria-se um dicionário com a chave sendo a identificação de cada *pallet*, que se trata de uma *string* com a palavra *pallet* e sua *ID* de quatro dígitos, e o valor sendo outro dicionário. Este outro dicionário tem como chave a *string* com a palavra Caixa Grande e seu número de identificação e o valor a lista com as doze *ID*'s de caixas de um litro. Portanto, são vinte e seis *pallets* representados por vinte e seis dicionários, que dentro de cada um deles possui vinte e um outros dicionários que representam vinte e uma caixas grandes e dentro de cada um desses vinte e um dicionários, se encontra uma lista com doze elementos que representam doze caixas de leite.

### 5.1.5 Logística Parte I

A seguir são apresentadas as variáveis e seus formatos a serem registrados na etapa relativa à primeira parte de logística:

- *ID Pallets*: [*pallet* xxxx, *pallet* xxxx. . . *pallet* xxxx]
- Data e hora - *timestamp*: xx/xx/xxxx xx:xx
- *ID* Centro de distribuição: xxxx
- *ID* responsável pela entrega: xxxx
- *ID* empresa de logística: xxxx
- *ID* caminhão: xxxx

Esta etapa se refere ao momento em que a carreta de transporte logístico chega ao centro de distribuição para fazer o carregamento dos *pallets*. A capacidade de *pallets* em uma carreta varia bastante dependendo do modelo. Neste trabalho, será considerada uma capacidade de vinte e seis *pallets* em uma carreta. Para emular o registro desse carregamento, foi extraído do dicionário "*pallets*" suas chaves, colocando-os em uma lista chamada de "*ID pallets*". As *ID*'s relativas ao responsável pela entrega, empresa de logística e caminhão são emuladas da mesma forma que as *ID*'s anteriores. A *ID* do centro de distribuição é emulada replicando a mesma *ID* do bloco anterior. O registro de data e hora em que o caminhão sai do centro de distribuição é emulado da mesma forma que as datas anteriores, levando em consideração uma diferença de dez a cinquenta horas e de zero a cinquenta e nove minutos.

### 5.1.6 Logística Parte II

A seguir são apresentadas as variáveis e seus formatos a serem registrados na etapa relativa à segunda parte de logística:

- Data e hora - *timestamp*: xx/xx/xxxx xx:xx
- *ID* Mercado: xxxx
- *ID* responsável pela entrega: xxxx
- *ID* empresa de logística: xxxx
- *ID* caminhão: xxxx
- *ID*'s *pallets* descarregados: xxxx
- *ID* do responsável mercado: xxxx

Esta etapa se refere à chegada do caminhão a um mercado. Para emular as *ID*'s do mercado e do responsável do mercado, foi utilizado o método que cria um número aleatório de quatro dígitos. As *ID*'s do responsável pela entrega, da empresa de logística e do caminhão foram recuperadas a partir do bloco anterior. O registro de data e hora em que o caminhão chega ao mercado é emulado da mesma forma

que as datas anteriores, levando em consideração uma diferença de uma a dez horas e de zero a cinquenta e nove minutos desde o momento em que sai do centro de distribuição.

## 5.2 Implementação(Descrevendo Código)

### 5.2.1 Módulos

Inicialmente, para construir o *blockchain* são importados alguns módulos de interesse que trarão funções que servirão de importantes ferramentas para o código. Seguem a seguir:

```
import hashlib
import json
import random
import time
import datetime
from urllib.parse import urlparse
from uuid import uuid4

import requests
from flask import Flask, jsonify, request, render_template, json
```

Figura 5.1: Trecho de código referente à parte de módulos.

O primeiro módulo trata do *hashlib* e é um módulo que oferece uma variedade de algoritmos de *hash* para criptografar dados de forma segura. Dentre eles estão MD5, SHA-1 e a família SHA-2 mais segura, que engloba SHA-256, SHA-384, SHA-512, entre outros. Em nosso caso utilizamos o algoritmo SHA-256.

O segundo módulo é o *json*. JSON significa *JavaScript Object Notation* e é um formato leve para armazenar e transportar dados. JSON é frequentemente usado quando os dados são enviados de um servidor para uma página da *web*. Neste trabalho, o módulo é utilizado diversas vezes no auxílio de envio de dados para a página *web*.

Também é importado o módulo *random*. Este módulo implementa geradores de números pseudo aleatórios para várias distribuições. No trabalho ele será utilizado

principalmente na geração de valores aleatórios para emulação de sinais.

Os módulos `time` e `datetime` provêm funções relacionadas a tempo, datas e horários. No trabalho, eles são utilizados para retornar o tempo em segundos a partir do tempo *epoch* como um número de ponto flutuante.

Este módulo define uma interface padrão para quebrar *strings* do *Uniform Resource Locator (URL)* em componentes (esquema de endereçamento, localização de rede, caminho etc.), para combinar os componentes de volta em uma *string* de *URL* e para converter uma “*URL* relativa” em um “*URL* absoluto” dado um “*URL* base”. Deste módulo, se importa a função `urlparse`, que analisa e transforma uma *URL* em seis componentes, retornando uma tupla de 6 itens. Cada item da tupla é uma *string*, possivelmente vazia. Neste trabalho, a função é utilizada no método `register_node`, que adiciona um novo nó na lista de nós.

O módulo `uuid` fornece objetos `uuid` imutáveis e a função `uuid4` retorna uma *string* alfanumérica de 36 caracteres que é um identificador universalmente exclusivo (UUID) da versão 4. Um identificador universalmente exclusivo (UUID) é um rótulo de 128 *bits* usado para informações em sistemas de computador. Neste trabalho a função é utilizada para gerar um endereço globalmente exclusivo para um nó.

O módulo `Requests` permite enviar solicitações HTTP/1.1 com extrema facilidade. Não há necessidade de adicionar manualmente *strings* de consulta aos seus *URL*'s ou de codificar seus dados *PUT* e *POST*. Neste trabalho, é utilizado no método `resolve_conflicts`, no momento de coletar e verificar as cadeias de todos os nós da rede.

Finalmente, do módulo `flask`, importamos as funções `Flask`, `jsonify`, `request`, `render_template`, `json`. O módulo `flask` representa um *framework* de desenvolvimento *web* no Python conhecido por sua simplicidade e flexibilidade. O `jsonify` serializa dados no formato *JavaScript Object Notation (JSON)*, agrupa-os em um objeto `Response`. A função `request` analisa os dados de solicitação JSON recebidos e os retorna. A função `render_template` serve um modelo HTML como resposta e o `json` está relacionado ao *JavaScript Object Notation (JSON)*.

## 5.2.2 Métodos

### Init

```
def __init__(self):  
    self.chain = []  
    self.current_transactions = []  
    self.nodes = set()  
  
    # Create the genesis block  
    self.new_block(previous_hash=1, proof=100)
```

Figura 5.2: Trecho de código referente ao método init.

O método `__init__` se trata do método construtor da classe *blockchain*. Ele é responsável por criar o objeto daquela classe. Em nosso caso não há nenhum atributo referente a esse método, mas não é incomum que isso aconteça. O *self* é um parâmetro obrigatório que receberá a instância criada. Ao contrário de muitas linguagens, ele deve ser explícito. E também ao contrário de muitas linguagens que criam o objeto durante o construtor, Python cria o objeto e passa ele para o construtor complementar com as primeiras ações necessárias quando ele é construído. Dentro do método é criada uma lista vazia referente a cadeia, chamada de *chain*. Posteriormente, ele receberá os blocos do *blockchain*. Além disso, também é criada a lista vazia *current\_transactions* que posteriormente será utilizada como ferramenta para guardar novas transações que serão adicionadas aos blocos. Há também a criação do conjunto de nós, na linha do `self.nodes`, onde é utilizada a função `set`, representam uma coleção de itens desordenada, parcialmente imutável e que não podem conter elementos duplicados. Por ser parcialmente imutável, os *sets* possuem permissão de adição e remoção de elementos. Neste caso, é um conjunto vazio. É criado também dentro do método o bloco gênese, isto é, o primeiro bloco, que é criado por meio do `self.new_block(previous_hash=1, proof=100)`, onde o argumento `previous_hash` que recebe o valor 1 e o argumento *proof* que recebe o valor 100.

## Register Node

```
def register_node(self, address):
    """
    Add a new node to the list of nodes
    :param address: <str> Address of node. Eg. 'http://192.168.0.5:5000'
    :return: None
    """

    parsed_url = urlparse(address)
    self.nodes.add(parsed_url.netloc)
```

Figura 5.3: Trecho de código referente ao método init.

O método `register_node` adiciona um novo nó na lista de nós. Nele é instanciada a variável `parsed_url` que utiliza a função `urlparse` para parsear o endereço do nó. O método `add()` adiciona um elemento ao conjunto de nós. Se o elemento já existir no conjunto, ele não é adicionado. A função `.netloc` retorna a parte da url referente à localização da rede. Dessa forma, a localização daquele nó na rede é adicionada ao conjunto de localizações dos outros nós.

## New Block

```
def new_block(self, proof, previous_hash=None):
    block = {
        'index': len(self.chain) + 1,
        'transactions': self.current_transactions,
        'proof': proof,
        'previous_hash': previous_hash or self.hash(self.chain[-1]),
    }

    # Reset the current list of transactions
    self.current_transactions = []

    self.chain.append(block)
    return block
```

Figura 5.4: Trecho de código referente ao método `new_block`.

O método `new_block` é utilizado para o caso da adição de um novo bloco na cadeia. Seus argumentos são o `proof`, que se refere ao *proof of work* daquele bloco e o `previous_hash`, que se refere ao *hash* do bloco anterior. Neste caso, o bloco consiste em um dicionário com quatro chaves e valores. O primeiro é o *index*, que é calculado por meio do tamanho da cadeia mais um. A chave `transactions` traz como



valor o conteúdo da lista `current_transactions`, referente às informações da transação atual. A chave `proof` traz consigo o valor *proof*, que representa o *proof of work* do bloco. Por fim, a chave `previous_hash`, traz como valor o *hash* do bloco anterior. Em seguida, no método, a lista `current_transactions` é esvaziada para que possa ser utilizada no próximo novo bloco. Além disso, o bloco é adicionado a lista referente à cadeia. O método retorna o bloco.

### New Transaction (1 ao 6)

Em seguida, são apresentados seis métodos diferentes, cada um representando uma das seis etapas propostas da cadeia produtiva do leite. Eles têm basicamente a mesma estrutura, o que os difere é o tipo de informação que cada uma apresenta. Cada uma delas apresenta argumentos relativos à etapa correspondente. Dentro do método, a variável *seconds* é instanciada e guarda em si o número de segundos passados desde a *epoch* (o ponto onde o tempo começa). As informações de cada etapa são adicionadas na lista de `current_transactions` e o método retorna o *index* do bloco.

### Last Block, Penultimate Block e Get Equivalent Block

```
@property
def last_block(self):
    return self.chain[-1]

@property
def penultimate_block(self):
    return self.chain[-2]

@property
def get_equivalent_block(self):
    return self.chain[-6]
```

Figura 5.5: Trecho de código referente aos métodos `last_block`, `penultimate_block` e `get_equivalent_block`.

O método `last_block` retorna o último bloco da cadeia, enquanto que o método `penultimate_block` retorna o penúltimo bloco da cadeia. O método `get_equivalent-`

block retorna o bloco de etapa equivalente da cadeia, isto é, se aquele bloco contempla informações relativas a etapa de ordenha, por exemplo, ao utilizar esse método, serão retornadas informações relativas à etapa de ordenha de um processo anterior.

## Hash

```
@staticmethod
def hash(block):
    """
    Creates a SHA-256 hash of a Block
    :param block: <dict> Block
    :return: <str>
    """

    # We must make sure that the Dictionary is Ordered, or we'll have inconsistent hashes
    block_string = json.dumps(block, sort_keys=True).encode()
    return hashlib.sha256(block_string).hexdigest()
```

Figura 5.6: Trecho de código referente ao método hash.

O método hash cria um *hash* do tipo *SHA-256* de um bloco. A variável `block_string` recebe utiliza a função `json.dumps`, que converte um subconjunto de objetos python em uma *string* json. o argumento `sort_keys=True` faz com que os dados do dicionário, no caso o bloco, sejam sortidas dentro da *string*, isto é, elas não aparecem na ordem que estão no dicionário. A função `.encode` codifica uma determinada *string* utilizando uma codificação específica. Caso não seja especificada, será utilizado o UTF-8. A função SHA-256 transforma a variável `block_string` em um objeto *hash* e a função `hexdigest` transforma esse objeto em um *hash* legível.

## Proof of Work

```
def proof_of_work(self, last_proof):
    """
    Simple Proof of Work Algorithm:
    - Find a number p' such that hash(pp') contains leading 4 zeroes, where p is the previous p'
    - p is the previous proof, and p' is the new proof
    :param last_proof: <int>
    :return: <int>
    """

    proof = 0
    while self.valid_proof(last_proof, proof) is False:
        proof += 1

    return proof
```

Figura 5.7: Trecho de código referente ao método `proof_of_work`.

O método `proof_of_work` representa o algoritmo de *proof of work* do *blockchain*. Inicialmente, a variável *proof* é igual a zero. Enquanto o método `valid_proof` for falso, o valor de *proof* é incrementado. O método retorna *proof*.

## Valid Proof

```
@staticmethod
def valid_proof(last_proof, proof):
    """
    Validates the Proof: Does hash(last_proof, proof) contain 4 leading zeroes?
    :param last_proof: <int> Previous Proof
    :param proof: <int> Current Proof
    :return: <bool> True if correct, False if not.
    """

    guess = f'{last_proof}{proof}'.encode()
    guess_hash = hashlib.sha256(guess).hexdigest()
    return guess_hash[:4] == "0000"
```

Figura 5.8: Trecho de código referente ao método `valid_proof`.

O método `valid_proof` valida o valor da variável *proof of work*, se ela tem ou não quatro zeros iniciais. Ele tem como argumento as variáveis `last_proof` e *proof*, tomando os dois argumentos e criando um *hash* com eles. O método retorna falso caso os 4 primeiros dígitos sejam diferentes de zero e verdadeiro caso sejam iguais.

## Valid Chain

```
def valid_chain(self, chain):  
    """  
    Determine if a given blockchain is valid  
    :param chain: <list> A blockchain  
    :return: <bool> True if valid, False if not  
    """  
  
    last_block = chain[0]  
    current_index = 1  
  
    while current_index < len(chain):  
        block = chain[current_index]  
        print(f'{last_block}')  
        print(f'{block}')  
        print("\n-----\n")  
        # Check that the hash of the block is correct  
        if block['previous_hash'] != self.hash(last_block):  
            return False  
  
        # Check that the Proof of Work is correct  
        if not self.valid_proof(last_block['proof'], block['proof']):  
            return False  
  
        last_block = block  
        current_index += 1  
  
    return True
```

Figura 5.9: Trecho de código referente ao método `valid_chain`.

O método `valid_chain` tem como argumento a lista que representa a cadeia e determina se uma determinada *blockchain* é válida. A variável `last_block` recebe o valor do primeiro elemento da cadeia e a variável `current_index` recebe o valor 1. Um *while* é feito enquanto o valor da variável `current_index` for menor que o tamanho da *chain*. Nesse *loop*, a variável `block` recebe o bloco de *index* igual ao `current_index` somado a um. Dois *if*'s são implementados, um para checar que o *hash* do bloco está correto e a outra para checar se o *proof of work* está correto. Em seguida, a variável `last_block` recebe o valor de `block` e a variável `current_index` é incrementada. O método retorna *True*.

## Resolve Conflicts

```
def resolve_conflicts(self):
    """
    This is our Consensus Algorithm, it resolves conflicts
    by replacing our chain with the longest one in the network.
    :return: <bool> True if our chain was replaced, False if not
    """

    neighbours = self.nodes
    new_chain = None

    # We're only looking for chains longer than ours
    max_length = len(self.chain)

    # Grab and verify the chains from all the nodes in our network
    for node in neighbours:
        response = requests.get(f'http://{node}/chain')

        if response.status_code == 200:
            length = response.json()['length']
            chain = response.json()['chain']

            # Check if the length is longer and the chain is valid
            if length > max_length and self.valid_chain(chain):
                max_length = length
                new_chain = chain

    # Replace our chain if we discovered a new, valid chain longer than ours
    if new_chain:
        self.chain = new_chain
        return True

    return False
```

Figura 5.10: Trecho de código referente ao método `resolve_conflicts`.

O método `resolve_conflicts` se trata de um algoritmo de consenso, que resolve conflitos recolocando a cadeia pela maior cadeia da rede. A variável *neighbours* recebe os nós da rede, enquanto a variável *new\_chain* recebe o valor *none*. A variável *max\_lenght* recebe o tamanho da cadeia, uma busca por cadeias maiores que a nossa dentro da rede. Em seguida o *loop* *for* é responsável por pegar e verificar as cadeias de todos os nós da nossa cadeia. Em seguida, um *if* recoloca nossa cadeia se descobrirmos uma cadeia maior que a nossa. O método retorna *False*.

## Número de Quatro Dígitos

```
@property
def numero_de_quatro_digitos(self):
    numero_de_quatro_digitos = []
    for i in range(0, 4):
        i = random.randrange(0, 9)
        numero_de_quatro_digitos.append(i)
    y = ''.join([str(numero) for numero in numero_de_quatro_digitos])
    return y
```

Figura 5.11: Trecho de código referente ao método `numero_de_quatro_digitos`.

Vemos que nesse método, é criada uma lista vazia, chamada `numero_de_quatro_digitos`. Em seguida, para cada elemento de zero a quatro, um número de zero a nove é gerado por meio da função `random` e em seguida é acrescentado à lista `numero_de_quatro_digitos` por meio da função `append`. Dessa forma, é obtida uma lista com quatro números inteiros decimais de um dígito. Por fim, cada um dos quatro números inteiros presentes na lista é transformado em uma variável do tipo *string* e é concatenada e guardada na variável `y`, resultando em uma *string* que representa um número de quatro dígitos.

## Gen *timestamp*

```
@property
def gen_timestamp(self, min_year=2019, max_year=2030):
    # gera um datetime no formato yyyy-mm-dd hh:mm:ss.000000
    year = random.randint(min_year, max_year)
    month = random.randint(1, 12)
    day = random.randint(1, 28)
    hour = random.randint(5, 12)
    minute = random.randint(1, 59)
    second = random.randint(1, 59)
    microsecond = random.randint(1, 999999)
    date = datetime.datetime(
        year, month, day, hour, minute, second, microsecond).isoformat(" ")
    return date
```

Figura 5.12: Trecho de código referente ao método `gen_timestamp`.

O método é iniciado com dois de seus argumentos com valores limitantes, isto é, os anos de interesse são entre 2019 e 2024. Em seguida, para que se construa a

data, utiliza-se a função random para atribuição de valores de ano, mês, dia, hora, minuto, segundo e microssegundo. Por fim, utilizando a função datetime, a data é construída e o método retorna a data. Vale ressaltar que o intervalo de horários possíveis é de cinco horas da manhã até meio-dia.

## Cálculo V O

```
@property
def calculo_v_o(self):
    y = random.randrange(500,550)
    return y
```

Figura 5.13: Trecho de código referente ao método calculo\_v\_o.

Por fim, o método calculo\_v\_o utiliza a função random com um intervalo de 500 a 550.

## Random Signal

```
@property
def random_signal(self):
    z = random.random()
    y = 0
    if z < 0.95:
        y = 1
    else:
        pass
    return y
```

Figura 5.14: Trecho de código referente ao método random\_signal.

O método random\_signal utiliza a função random para gerar um número decimal de parte inteira igual a zero, que é guardada na variável z. Além disso, a variável y é criada e recebe o valor 0. Caso o número aleatório criado seja menor que 0,95, o valor de y se transforma em 1. Caso contrário, permanece zero. O método retorna y.

## Cálculo T Leite

```
@property
def calculo_t_leite(self):
    y = random.randrange(24,50)
    return y
```

Figura 5.15: Trecho de código referente ao método `calculo_t_leite`.

Neste caso, utiliza-se a função `randrange` para se obter um número aleatório dentro da faixa de 24 a 50, que representa a faixa das horas de armazenamento dentro do tanque.

## Sum *timestamp*

```
def sum_timestamp(self, date_1, t_leite_horas, t_leite_dias):
    days = t_leite_dias
    hours = t_leite_horas
    new_date = date_1 + datetime.timedelta(days = days, hours = hours)
    return new_date
```

Figura 5.16: Trecho de código referente ao método `sum_timestamp`.

Uma vez que o tempo em que o leite ficou armazenado foi calculado, é necessário explicitar essa data, isto é, esse *timestamp*. Dessa forma, foi criado o método `sum_timestamp`, que tem como argumentos a data base criada na etapa anterior, a variável relativa à quantidade de dias em que o leite ficou armazenado, bem como a variável relativa a quantidade de horas que o leite ficou armazenado. De porte desses argumentos, o método utiliza a função `timedelta` para calcular a nova data.



## Caixas de Um Litro

```
@property
def caixas_de_um_litro(self):
    caixa = []
    numero_de_quatro_digitos = []
    qq = 0
    for j in range(1, 12):
        if len(caixa) == 0:
            for i in range(0, 4):
                i = random.randrange(0, 9)
                numero_de_quatro_digitos.append(i)
                y = ''.join([str(numero) for numero in numero_de_quatro_digitos])
                if len(y) == 4:
                    y = int(y)
                    caixa.append(y)
            else:
                pass
            qq += 1
        else:
            pass
        y = int(y)
        y += 1
        caixa.append(y)
    return caixa
```

Figura 5.17: Trecho de código referente ao método `caixas_de_um_litro`.

Neste modelo, para que fosse possível emular as IDs das caixas de leite de um litro, foi criado o método "caixas\_de\_um\_litro". Inicialmente, são criadas duas listas vazias chamadas `caixa` e `numero_de_quatro_digitos`, bem como é instanciada a variável `qq`, que servirá de ferramenta indexadora. Em seguida, é criado um *loop* for com uma faixa de 1 a 12, para as doze caixas de um litro. Caso o tamanho da lista seja igual a zero, isto é, caso não exista nenhuma *ID* de caixa de um litro armazenada na lista, um número de quatro dígitos aleatório é criado e adicionado à lista. Caso a lista já tenha o primeiro elemento, novos elementos são criados e adicionados na lista a partir da incrementação do primeiro e assim uma lista com doze elementos sequenciais é criada. O método retorna a lista `caixa`.

### 5.2.3 Flask e suas Rotas

```
# Instantiate our Node
app = Flask(__name__)

# Generate a globally unique address for this node
node_identifier = str(uuid4()).replace('-', '')

# Instantiate the Blockchain
blockchain = Blockchain()
```

Figura 5.18: Trecho de código referente ao início da implementação relativa ao Flask.

Inicialmente, uma nova variável chamada *app*, que é utilizada em todos os aplicativos *Flask*, é instanciada. A variável recebe o valor `Flask(__name__)` que é um novo objeto que herda da classe *Flask* todos os atributos e métodos que foram construídos nela. É possível dizer também que a criação deste novo objeto *flask* é uma forma de instanciar nosso nó.

A segunda linha de código gera um identificador único para um nó em uma rede de *blockchain*:

- `'uuid4()'`: Esta é uma função que gera um identificador único universal (UUID) usando números aleatórios. UUIDs são identificadores padronizados que são únicos em todos os dispositivos e sistemas;
- `'str(uuid4())'`: Isso converte o UUID gerado pelo `'uuid4()'` em um formato de string;
- `'replace('-', '')'`: UUIDs normalmente contêm hífens (-) para separar diferentes partes do identificador. Esta parte do código remove esses hífens substituindo-os por uma string vazia, efetivamente concatenando todos os caracteres juntos.

Então, em resumo, a variável `'node_identifier'` conterá um identificador único para o nó, representado como uma *string* de caracteres alfanuméricos sem hífens. Este identificador pode ser usado para distinguir um nó de outro na rede de *blockchain*. Em seguida, a variável *blockchain* é instanciada e recebe o objeto *blockchain*.

## Rota Mine

```
@app.route('/mine', methods=['GET'])
def mine():
    # We run the proof of work algorithm to get the next proof...
    last_block = blockchain.last_block
    last_proof = last_block['proof']
    proof = blockchain.proof_of_work(last_proof)
```

Figura 5.19: Trecho de código relativo ao início do desenvolvimento da rota \mine.

A primeira rota do programa é criada e se trata do '/mine', que utiliza o método GET para fazer a mineração do *blockchain*. Dentro da rota, o método mine é criado, onde o algoritmo de *proof of work* é rodado e se obtém a próxima *proof*. Em seguida, o código apresenta um *loop for* com uma faixa de zero a cinquenta. Essa faixa foi escolhida de forma a ser grande suficiente para provar o conceito proposto e pequena na medida que não exija esforço computacional desnecessário. A faixa poderia ter sido maior, idealmente poderia ter sido infinita, no entanto, seria desnecessário. Nesse *loop for*, a variável *k* inicia em zero e segue até cinquenta. Cada incremento da variável *k* representa a cadeia de produção sendo executada uma vez, isto é, a cada incremento de *k* as seis etapas da cadeia de produção do leite (ordenha, transporte, fábrica, transferência de caixa de leite, logística parte I e logística parte II) são percorridas. Dentro desse *loop for*, uma condição *if* é estabelecida para cada etapa e essas condições *if*'s se relacionam com as etapas por meio do *index* do bloco, isto é, blocos referentes a etapa de ordenha tem o *index* igual a dois, já que o bloco gênese tem o *index* igual a um e o bloco de ordenha vem logo depois. Dessa forma, como são consideradas seis etapas no total, as etapas relativas a ordenha tem o *index* igual a dois + 6\*k, sendo *k* variante de zero a cinquenta, em nosso caso. Essa lógica é apresentada na figura a seguir.

### 5.2.3.1.1 - ORDENHA

```
for k in range(0,50):
    if last_block['index'] + 1 == 2 + 6*k:
        #ORDENHA

        #IDs
        #Id pequeno produtor - x1
        #Id fazenda - x2
        #Id tanque - x4
        x1 = blockchain.numero_de_quatro_digitos
        x2 = blockchain.numero_de_quatro_digitos
        x4 = blockchain.numero_de_quatro_digitos

        #Lista de ids das vacas
        ids_vacas = []
        for i in range(0,100):
            x3 = blockchain.numero_de_quatro_digitos
            ids_vacas.append(x3)
        ids_vacas_sem_duplicatas = list(set(ids_vacas))

        #Eliminacao de duplicatas de lista de ids das vacas
        for i in range(0, 50):
            if len(ids_vacas_sem_duplicatas) <= 99:
                i = blockchain.numero_de_quatro_digitos
                ids_vacas_sem_duplicatas.append(i)
                ids_vacas_sem_duplicatas = list(set(ids_vacas_sem_duplicatas))
            else:
                pass

        #Volume Ordenhado
        v_o = blockchain.calculo_v_o
```

Figura 5.20: Primeira parte do trecho de código relativo à ordenha dentro da rota \mine.

```
#Timestamp ordenha
if k == 0:
    base_date = blockchain.gen_timestamp
else:
    ab = blockchain.get_equivalent_block['transactions']
    ab = ab[0]
    date_a = ab['base_date']
    date_a = datetime.datetime.strptime(date_a, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    data_aa = date_a + datetime.timedelta(days=1, seconds=1, microseconds=1, milliseconds=1, weeks=1)
    base_date = data_aa.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')

# Cria uma transacao referente a etapa de ordenha
blockchain.new_transaction(
    id_peqprod = x1,
    id_fazenda = x2,
    id_vaca = ids_vacas_sem_duplicatas,
    id_tanque = x4,
    volume_ordenhado = v_o,
    base_date = base_date
)
```

Figura 5.21: Segunda parte do trecho de código relativo à ordenha dentro da rota \mine.

Na sequência do código, as *ID*'s referentes ao pequeno produtor, fazenda e tanque são produzidas por meio do método `numero_de_quatro_digitos`. Em seguida, é criada uma lista com as *ID*'s das vacas e depois é criada uma lógica para que essa lista não tenha duplicatas, isto é, é feita uma lógica para que as *ID*'s criadas não se repitam e não emulem a situação onde a mesma vaca é ordenhada mais de uma vez no mesmo tanque, no mesmo dia. Em seguida, o volume ordenhado é emulado por meio do método `calcula_v_o`. Por fim, a data base, isto é, a *timestamp* relativa a ordenha é criada utilizando o método `gen_timestamp`, caso se trate da primeira cadeia de produção registrada na *blockchain*. Caso contrário, é adicionado a data base um dia, um segundo, um microssegundo, um milissegundo e uma semana a data base. Essa lógica é feita para que os registros de cadeias de produção sejam feitos obedecendo a ordem cronológica. Por fim, o método `new_transaction`, que cria uma transação referente a etapa de ordenha. Os valores obtidos são colocados nas respectivas variáveis para serem registrados dentro do bloco na *blockchain*.

#### 5.2.3.1.2 - TRANSPORTE

```
elif last_block ['index'] + 1 == 3 + 6*k:
#TRANSPORTE

#IDs
x5 = blockchain.numero_de_quatro_digitos
x6 = blockchain.numero_de_quatro_digitos
x7 = blockchain.numero_de_quatro_digitos

#Volume
abb = last_block['transactions']
abb = abb[0]
abb = abb['volume_ordenhado']
v_atl = blockchain.random_signal
if v_atl == 1:
    v_atl = abb
else:
    v_atl = 0.85*abb

#Tempo de armazenamento do leite
t_leite = blockchain.calculo_t_leite
t_leite_horas = (t_leite % 24)
t_leite_dias = (t_leite // 24)

#Respeitou limite de tempo?
o_a_temp = 'Sim'
if t_leite > 48:
    o_a_temp = 'Não'
else:
    pass

#Respeitou limite de temperatura?
o_a = blockchain.random_signal
if o_a == 1:
    o_a2 = 'Sim'
else:
    o_a2 = 'Não'
```

Figura 5.22: Primeira parte do trecho de código relativo ao transporte dentro da rota \mine.

```

#Análise de qualidade I
a_q = blockchain.random_signal
if a_q == 1:
    a_q2 = ' Normal'
else:
    a_q2 = ' Lina'

#Timestamp transporte
abb1 = last_block['transactions']
abb1 = abb1[0]
date_1 = abb1['base_date']
date_1 = datetime.datetime.strptime(date_1, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
data_transporte = blockchain.sum_timestamp(date_1, t_leite_horas, t_leite_dias)
data_transporte = data_transporte.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')

#Transforma tempo de armazenamento do leite em string
t_leite_horas = str(t_leite_horas)
t_leite_dias = str(t_leite_dias)

#Cria uma transacao referente a etapa de transporte
blockchain.new_transaction_2(
    o_armazenamento_temp = '0 armazenamento respeitou os limites de tempo? ' + o_a_temp,
    o_armazenamento_tpirt='0 armazenamento respeitou os limites de temperatura? ' + o_a2,
    id_caminhao=x5,
    id_e_t=x6,
    id_r_t=x7,
    analise1 = 'Análise de qualidade do leite I - ' + a_q2,
    volume_atl = v_atl,
    tempo_armazenado = 'Armazenado a ' + t_leite_dias + ' dia(s) e ' + t_leite_horas + ' hora(s)',
    data_transporte = data_transporte
)

```

Figura 5.23: Segunda parte do trecho de código relativo ao transporte dentro da rota \mine.

No que diz respeito à etapa de transporte, as *ID*'s referentes à empresa de transporte, ao responsável pelo transporte e ao caminhão são produzidas utilizando o método `numero_de_quatro_digitos`. O volume também é emulado, utilizando o volume ordenhado obtido na etapa anterior e utilizando o método `random_signal` para definir se o volume será mantido ou se o volume representará 85% do volume anterior. O tempo de armazenamento do leite é obtido por meio do método `calculo_t.leite`, sendo separa em dias e horas. A lógica para determinar se o limite de tempo foi respeitado também é aplicada. Em seguida, é aplicada a lógica que diz respeito ao limite de temperatura e utiliza o método `random_signal`. É criada também uma lógica relacionada a análise de qualidade, que tem como ferramenta o método `random_signal`. O *timestamp* de transporte do caminhão isotérmico é criado baseado no *timestamp* de ordenha, isto é, a data base. Ele também leva em consideração o tempo de armazenamento do leite. Há uma lógica para transformar esse tempo de armazenamento do leite em uma *string*. Por fim, o método `new_transaction_2`, que cria uma transação referente a etapa de transporte,

é aplicado. Os valores obtidos são colocados nas respectivas variáveis para serem registrados dentro do bloco na *blockchain*.

#### 5.2.3.1.3 - FÁBRICA

```
elif last_block['index'] + 1 == 4 + 6*k:
    #Fabrica

    #Analise de qualidade II
    a_qii = blockchain.random_signal
    if a_qii == 1:
        a_qii2 = ' Normal'
    else:
        a_qii2 = ' Lina'

    #Volume ao chegar na fabrica
    abc = last_block['transactions']
    abc = abc[0]
    abc = abc['volume_at1']
    v_f = blockchain.random_signal
    if v_f == 1:
        v_f = abc
    else:
        v_f = 0.85*abc

    #Timestamp de chegada na fabrica
    t_trans_horas = random.randrange(2, 5)
    t_trans_minutos = random.randrange(0, 59)
    abc1 = last_block['transactions']
    abc1 = abc1[0]
    date_2 = abc1['data_transporte']
    date_2 = datetime.datetime.strptime(date_2, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    data_trans = date_2 + datetime.timedelta(minutes=t_trans_minutos, hours=t_trans_horas)
    data_trans = data_trans.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
```

Figura 5.24: Primeira parte do trecho de código relativo à fábrica dentro da rota \mine.

Em relação à etapa fábrica, a lógica que emula a análise de qualidade de chegada à fábrica é criada e utiliza o método `random_signal`. O volume ao chegar na fábrica também é emulado da mesma maneira da etapa anterior.

```

#Pasteurizacao
a_p = blockchain.random_signal
if a_p == 1:
    a_p2 = ' Sim'
else:
    a_p2 = ' Não'

#Timestamp Pasteurizacao
data_sl = datetime.datetime.strptime(data_trans, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
data_past = data_sl + datetime.timedelta(hours = 3)
data_past = data_past.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')

#Analise de laboratorio central
a_lc = blockchain.random_signal
if a_lc == 1:
    a_lc2 = ' Ok'
else:
    a_lc2 = ' Recusado'

#Timestamp Analise de laboratorio central
data_sl2 = datetime.datetime.strptime(data_past, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
data_lc = data_sl2 + datetime.timedelta(hours = 1, minutes = 30)
data_lc = data_lc.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')

#IDs
x8 = blockchain.numero_de_quatro_digitos

```

Figura 5.25: Segunda parte do trecho de código relativo à fábrica dentro da rota \mine.

O processo de pasteurização também é emulado e utiliza o método `random_signal`. O *timestamp* relativo a pasteurização tem como referência o *timestamp* de chegada à fábrica e adiciona três horas a ele. A análise do laboratório central também é emulado e tem a mesma estrutura das outras análises de qualidade. O *timestamp* da análise do laboratório central é feito da mesma forma que a *timestamp* da pasteurização e tem uma diferença de uma hora e meia em relação a ele. A *ID* do lote é criada da mesma forma que as *ID*'s anteriores.



```

# Esterilizacao
a_e = blockchain.random_signal
if a_e == 1:
    a_e2 = ' Sim'
else:
    a_e2 = ' Não'

# Timestamp Esterilizacao
data_sl3 = datetime.datetime.strptime(data_lc, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
data_est = data_sl3 + datetime.timedelta(minutes = 30)
data_est = data_est.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')

#Cria uma transacao referente a etapa Fabrica
blockchain.new_transaction_3(
    analise2 = 'Análise de qualidade do leite II - ' + a_qii2,
    volume_fabrica = v_f,
    data_trans = data_trans,
    past = 'Pasteurizacao completa? ' + a_p2,
    data_past = data_past,
    analise_lc = a_lc2,
    data_lc = data_lc,
    id_lote = x8,
    est = 'Esterilizacao completa? ' + a_e2,
    data_est = data_est
)

```

Figura 5.26: Terceira parte do trecho de código relativo à fábrica dentro da rota `\mine`.

O processo de esterilização também é construído da mesma forma que a pasteurização e o mesmo acontece com suas *timestamps*. Por fim, o método `new_transaction_3`, que cria uma transação referente a etapa da fábrica, é aplicado. Os valores obtidos são colocados nas respectivas variáveis para serem registrados dentro do bloco na *blockchain*.

#### 5.2.3.1.4 - TRANSFERÊNCIA PARA CAIXA DE LEITE

```
elif last_block['index'] + 1 == 5 + 6*k:
#TRANSFERÊNCIA DE CAIXA DE LEITE

    # x9 = id lote
    # x10 = id centro de distribuicao
    # IDC = Id do Caminhão
    abd = last_block['transactions']
    abd = abd[0]
    x9 = abd['id_lote']
    x10 = blockchain.numero_de_quatro_digitos

    #Cria e organiza as IDs das caixas de 1 litro, das caixas grandes e dos pallets
    pallets = {}
    z = int(blockchain.numero_de_quatro_digitos)
    for tantof in range(0, 26):
        z += 1
        pallet = {}
        y = int(blockchain.numero_de_quatro_digitos)
        for x in range(1, 22):
            y += 1
            caixa_grande = blockchain.caixas_de_um_litro
            pallet["Caixa Grande {0}".format(str(y))] = caixa_grande
        pallets["Pallet {0}".format(str(z))] = pallet

    # Cria uma transacao referente a etapa Transferencia para caixa de leite
    blockchain.new_transaction_4(
        id_lote=x9,
        pallets=pallets,
        id_centro_distribuicao1 = x10
    )
```

Figura 5.27: Trecho de código relativo à transferência para a caixa de leite dentro da rota \mine.

No que diz respeito à etapa de transferência de caixa de leite, a *ID* do lote é criado a partir da etapa anterior, portanto tem a mesma *ID*. Já em relação a *ID* do centro de distribuição é emulado a partir do método `numero_de_quatro_digitos`. Uma lógica responsável por criar e organizar as *ID*'s das caixas de um litro, das caixas grandes e dos *pallets* também é criada. Ela utiliza os métodos `numero_de_quatro_digitos` e `caixas_de_um_litro`. Por fim, o método `new_transaction_4`, que cria uma transação referente a etapa de transferência para a caixa de leite, é aplicado. Os valores obtidos são colocados nas respectivas variáveis para serem registrados dentro do bloco na *blockchain*.

#### 5.2.3.1.5 - LOGÍSTICA PARTE I

```
elif last_block['index'] + 1 == 6 + 6*k:
    # Logística parte I

    # id_el - id empresa de logística
    # idc - id caminhão
    # id_rpe - id responsável pela entrega
    # id_cdd - id centro de distribuição
    id_el = blockchain.numero_de_quatro_digitos
    idc = blockchain.numero_de_quatro_digitos
    id_rpe = blockchain.numero_de_quatro_digitos
    abe = last_block['transactions']
    abe = abe[0]
    abe = abe['id_centro_distribuicao1']
    id_cdd = abe

    #lista com ids dos pallets que se encontram dentro do caminhão
    abel = last_block['transactions']
    abel = abel[0]
    abel = abel['pallets']
    lp = list(abel.keys())

    # Timestamp chegada do caminhão
    t_chegc_horas = random.randrange(10, 50)
    t_chegc_minutos = random.randrange(0, 59)
    abe2 = blockchain.penultimate_block['transactions']
    abe2 = abe2[0]
    date_3 = abe2['data_lc']
    date_3 = datetime.datetime.strptime(date_3, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    data_trans_3 = blockchain.sum_timestamp(date_3, t_chegc_horas, t_chegc_minutos)
    data_trans_3 = data_trans_3.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')

    # Cria uma transacao referente a etapa Logística I
    blockchain.new_transaction_5(
        ids_pallets_caminhao=lp,
        id_caminhao=idc,
        id_emp_log = id_el,
        id_respp_ent = id_rpe,
        data_saida_caminhao=data_trans_3,
        id_centro_distribuicao2=id_cdd
    )
```

Figura 5.28: Trecho de código relativo à primeira parte da logística dentro da rota \mine.

Em relação à etapa de logística parte I, são criadas as *ID*'s relativas à empresa de logística, ao caminhão e ao responsável pela entrega utilizando o método `numero_de_quatro_digitos`. Uma vez que a *ID* do centro de distribuição já havia sido criada na etapa anterior, ela é replicada nessa etapa. Por se tratar de um dicionário, os *pallets* têm suas chaves tomadas e transformadas em uma lista, que é guardada na variável `lp`. A lógica relativa à *timestamp* de chegada do caminhão na fábrica tem como intervalo de horas 10 a 50 horas e 0 a 59 minutos, isto é, desde o momento

em que o laboratório central fez a liberação do lote até o momento de chegada do caminhão no centro de distribuição, há uma faixa de 10 a 50 horas, podendo variar em seus minutos. Por fim, o método `new_transaction_5`, que cria uma transação referente a etapa de logística parte I, é aplicado. Os valores obtidos são colocados nas respectivas variáveis para serem registrados dentro do bloco na *blockchain*.

### 5.2.3.1.6 - LOGÍSTICA PARTE II

```
elif last_block['index'] + 1 == 7 + 6*k:
    # Logística parte II

    # id_merc - id do mercado que recebe os pallets
    # id_r_merc - id do responsável do mercado que recebe os pallets
    id_merc = blockchain.numero_de_quatro_digitos
    id_r_merc = blockchain.numero_de_quatro_digitos

    #id caminhao
    abf = last_block['transactions']
    abf = abf[0]
    abf = abf['id_caminhao']
    idc2 = abf

    #id responsavel pela entrega
    abf1 = last_block['transactions']
    abf1 = abf1[0]
    abf1 = abf1['id_respp_ent']
    id_rpe2 = abf1

    #id empresa de logistica
    abf2 = last_block['transactions']
    abf2 = abf2[0]
    abf2 = abf2['id_emp_log']
    id_el2 = abf2

    # lista com ids dos pallets que se encontram dentro do caminhão
    abf3 = last_block['transactions']
    abf3 = abf3[0]
    abf3 = abf3['ids_pallets_caminhao']
    n = 3
    pmcd = abf3[slice(n)]

    # # Timestamp transporte
    t_cheg_merc_horas = random.randrange(1, 10)
    t_cheg_merc_minutos = random.randrange(0, 59)
    abf4 = last_block['transactions']
    abf4 = abf4[0]
    date_4 = abf4['data_saida_caminhao']
    date_4 = datetime.datetime.strptime(date_4, '%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')
    data_trans_4 = blockchain.sum_timestamp(date_4, t_cheg_merc_horas, t_cheg_merc_minutos)
    data_trans_4 = data_trans_4.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f')

    # Cria uma transacao referente a etapa Logistica II
    blockchain.new_transaction_6(
        id_mercado = id_merc,
        id_resp_merc = id_r_merc,
        id_caminhao2 = idc2,
        id_respp_ent2 = id_rpe2,
        id_empr_log2 = id_el2,
        pallets_entregues = pmcd,
        data_entrega = data_trans_4
    )

else:
    pass
```

Figura 5.29: Trecho de código relativo à segunda parte da logística dentro da rota \mine.

No que diz respeito à etapa de logística parte II, as *ID*'s relativas ao mercado e ao responsável por receber os *pallets* no mercado são criadas utilizando o método `numero_de_quatro_digitos`. A *ID* do caminhão é recuperada do último bloco, assim como as *ID*'s do responsável pela entrega e da empresa de logística. A lógica que determina os *pallets* que foram entregues no mercado também é criada. A *timestamp* do momento de entrega dos *pallets* é construída a partir da *timestamp* de saída do caminhão do centro de distribuição, adicionando de uma a dez horas e de zero a cinquenta e nove minutos a ela. Por fim, o método `new_transaction_6`, que cria uma transação referente a etapa de logística parte II, é aplicado. Os valores obtidos são colocados nas respectivas variáveis para serem registrados dentro do bloco na *blockchain*.

#### 5.2.3.1.7 - FORGE BLOCK

```
# Forge the new Block by adding it to the chain
previous_hash = blockchain.hash(last_block)
block = blockchain.new_block(proof, previous_hash)

response = {
    'message': "New Block Forged",
    'index': block['index'],
    'transactions': block['transactions'],
    'proof': block['proof'],
    'previous_hash': block['previous_hash'],
}

html_item_1 = json.dumps(response, indent=2, separators=(',', ':'))
return render_template("./mine.html", html_item_1=html_item_1)
```

Figura 5.30: Trecho de código relativo à confecção do bloco dentro da rota `\mine`.

Com todo o código relativo às transações construído, a parte relativa à confecção do bloco é feita. Os dados do bloco são colocados na variável `response` e são exportados para o html por meio da função `json.dumps`. O método `mine()` retorna a renderização do html.

## Rota Chain

```
@app.route('/chain', methods=['GET'])
def full_chain():
    response = {
        'chain': blockchain.chain,
        'length': len(blockchain.chain),
    }

    html_item_2 = json.dumps(response, indent=2, separators=(',', ':'))
    return render_template("./chain.html", html_item_2=html_item_2)
```

Figura 5.31: Trecho de código relativo à rota \chain.

A rota chain utiliza o método GET, onde é criado o método full\_chain, que tem como variável response o dicionário que apresenta as informações da cadeia e seu tamanho. Essas informações são colocadas na variável html\_item\_2, por meio da função json.dumps e o método retorna a renderização dessas informações.

## Rota Nodes/Resolve

```
@app.route('/nodes/resolve', methods=['GET'])
def consensus():
    replaced = blockchain.resolve_conflicts()

    if replaced:
        response = {
            'message': 'Our chain was replaced',
            'new_chain': blockchain.chain
        }
    else:
        response = {
            'message': 'Our chain is authoritative',
            'chain': blockchain.chain
        }

    return jsonify(response), 200
```

Figura 5.32: Trecho de código relativo à rota \nodes\resolve.

A rota `/nodes/resolve` utiliza o método GET e tem o método consensus. O método tem sua construção iniciada a partir da variável `replaced`, que guarda o valor `True` ou `False` dependendo se há alguma outra cadeia maior do que a atual. Se seu valor for `True` o `if` construído enviará uma resposta comunicando que a cadeia foi substituída e apresentará a nova cadeia. Caso contrário, a mensagem será que a cadeia é autoritária e a cadeia anteriormente considerada será exibida. O método retorna os dados serializados no formato *JavaScript Object Notation (JSON)* e agrupados em um objeto `Response`.

## Parte Final

```
if __name__ == '__main__':  
    app.run(host='0.0.0.0', port=5000)
```

Figura 5.33: Trecho de código referente à parte final desenvolvida.

Por fim, o último trecho de código é descrito a seguir:

- `if __name__ == '__main__':`:

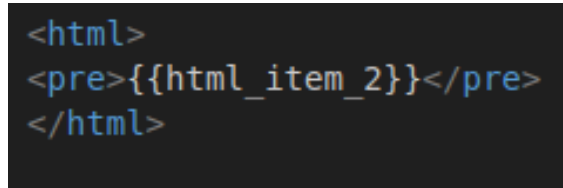
Verifica se o *script* está sendo executado diretamente pelo interpretador Python (`__name__ == '__main__'`). Se for, ele executa o bloco de código que o segue. Isso permite diferenciar entre código que está sendo executado como o programa principal e código que está sendo importado como um módulo em outro *script*.

- `app.run(host='0.0.0.0', port=5000)`: Essa linha inicia o servidor de desenvolvimento do Flask. `app` é assumido como uma instância da aplicação Flask. O método `run()` inicia o servidor de desenvolvimento. O argumento `host='0.0.0.0'` informa ao Flask para ouvir em todas as interfaces de rede disponíveis, e `port=5000` especifica o número da porta (5000 neste caso).



## 5.2.4 Arquivos HTML's

### Chain.html



```
<html>
<pre>{{html_item_2}}</pre>
</html>
```

Figura 5.34: Código relativo ao arquivo chain.html.

As *tags* «html» e «pre» são *tags* HTML usadas para estruturar e formatar o conteúdo de uma página da *web*: `<html>`: Este é o elemento raiz de um documento HTML. Ele envolve todo o conteúdo da página da *web* e o define como HTML. Todo documento HTML deve começar com uma *tag* `<html>` e terminar com uma *tag* `</html>` correspondente. `<pre>`: Este é um elemento de formatação usado para representar texto pré-formatado. O conteúdo dentro de um elemento `<pre>` é exibido em uma fonte de largura fixa e os espaços em branco dentro dele são preservados, o que significa que quaisquer espaços, tabulações, quebras de linha, etc., serão renderizados exatamente como aparecem no código HTML. Em nosso código, a *tag* `<html>` define o início do documento HTML, enquanto a *tag* `<pre>` é usada para exibir o conteúdo representado por `html_item_2`, de maneira pré-formatada.

## Mine.html

```
<html>

<script>
<!--
function timedRefresh(timeoutPeriod) {
    setTimeout("location.reload(true);",timeoutPeriod);
}

function generateRandomFloatInRange(min, max) {
    return (Math.random() * (max - min + 1)) + min;
}

j = generateRandomFloatInRange(3000.0, 6000.0);

window.onload = timedRefresh(j);

// -->

</script>

<pre>{{html_item_1}}</pre>
</html>
```

Figura 5.35: Código relativo ao arquivo mine.html.

Neste arquivo html, uma primeira função que atualiza a página *web* é declarada. Ela tem como argumento o período de tempo em que ela deve ser atualizada. A segunda função é responsável por gerar um número aleatório dentro de uma faixa pré-determinada. A variável *j* utiliza a função *generateRandomFloatInRange* dentro da faixa de três a seis segundos. *Window.onload* é uma função integrada Javascript que é acionada quando uma página é totalmente carregada. Ele chama a função *timedRefresh* utilizando o valor que *j* recebe.

## 5.3 Resultados

Dada a implementação apresentada na seção anterior, obtivemos o sistema que esperávamos, isto é, uma *blockchain* com todos os atributos propostos, sendo minerada a partir de uma página *web* que recarrega automaticamente apresentando o que está sendo registrado e uma página *web* correspondente à cadeia de blocos, que apresenta os dados registrados nos blocos. As figuras a seguir, apresentam os resultados da página de mineração referente à etapa de ordenha. A primeira figura representa a parte superior do resultado da página *web* e a segunda representa a parte final. Entre as duas existem *ID*'s de vacas que não foram contempladas em figuras por uma questão prática. Como exposto anteriormente, são representadas cem *ID*'s de vacas no total.

```
{
  "index":2,
  "message":"New Block Forged",
  "previous_hash":"ee16df073a201132886c6d91a0a3798115f7551ac86f74e31811968cd77a782d",
  "proof":35293,
  "transactions":[
    {
      "base_date":"2027-06-16 10:35:23.505807",
      "id_fazenda":"0348",
      "id_peqprod":"0661",
      "id_tanque":"4455",
      "id_vaca":[
        "0461",
        "0306",
        "2243",
        "2037",
        "0458",
        "8300",
        "7888",
        "8401",
        "2378",
        "1718",
        "3823",
        "5318",
        "2031",
        "5230",
        "0751",
        "8072",
        "3351",
        "7827",
        "0730",
        "6452",
        "3711",
        "8811",
        "2608",
        "3243",
        "7643",
        "0641",
```

Figura 5.36: Parte superior do resultado da página web referente a etapa de ordenha.

```

        "2211",
        "1420",
        "0518",
        "0885",
        "6428",
        "6337",
        "5575",
        "4603",
        "1577",
        "3803",
        "1426",
        "3264",
        "6113",
        "4226",
        "8888",
        "3677",
        "8818",
        "2427",
        "0576",
        "4870"
    ],
    "volume_ordenhado":549
  }
}

```

Figura 5.37: Parte inferior do resultado da página web referente a etapa de ordenha.

Vemos na figura que todos os elementos necessários e anteriormente propostos se encontram na figura, confirmando o resultado positivo para esta etapa. A figura a seguir mostra os resultados referentes à segunda etapa, a etapa de transporte.

```

{
  "index":3,
  "message":"New Block Forged",
  "previous_hash":"4f770e9a775acb24a305a566316711c581367f1ad64f29341765a707afbf1254",
  "proof":35089,
  "transactions":[
    {
      "analise1":"Análise de qualidade do leite I - Normal",
      "data_transporte":"2027-06-18 10:35:23.505807",
      "id_caminhao":"6567",
      "id_e_t":"2148",
      "id_r_t":"0717",
      "o_armazenamento_temp":"0 armazenamento respeitou os limites de tempo? Sim",
      "o_armazenamento_tprt":"0 armazenamento respeitou os limites de temperatura? Sim",
      "tempo_armazenado":"Armazenado a 2 dia(s) e 0 hora(s)",
      "volume_at1":549
    }
  ]
}

```

Figura 5.38: Resultado da página web referente a etapa de transporte.

O resultado obtido para a segunda etapa também se mostrou positivo, atendendo às expectativas. A figura a seguir apresenta os resultados obtidos para a terceira etapa, a etapa relativa à fábrica.

```

{
  "index":4,
  "message":"New Block Forged",
  "previous_hash":"992727cc06371476e09d988821ee8cd9c615cd16b55de7472192a20dd6d7a63d",
  "proof":119678,
  "transactions":[
    {
      "analise2":"Analise de qualidade do leite II - Normal",
      "analise_lc":" Ok",
      "data_est":"2027-06-18 18:46:23.505807",
      "data_lc":"2027-06-18 18:16:23.505807",
      "data_past":"2027-06-18 16:46:23.505807",
      "data_trans":"2027-06-18 13:46:23.505807",
      "est":"Esterilizacao completa? Sim",
      "id_lote":"3283",
      "past":"Pasteurizacao completa? Sim",
      "volume_fabrica":549
    }
  ]
}

```

Figura 5.39: Resultado da página web referente a etapa de fábrica.

O resultado obtido para a terceira etapa também se mostrou positivo, atendendo às expectativas. As figuras a seguir apresentam os resultados obtidos para a quarta etapa, relativa à transferência para caixa de leite. Por ser a etapa que tem registro de muitas informações, não foi possível demonstrar tudo em somente uma figura.

```

{
  "index":5,
  "message":"New Block Forged",
  "previous_hash":"a3209b3858e58db07c1b3244a3a82cd7034a59055189aa9899512d917fd03728",
  "proof":146502,
  "transactions":[
    {
      "id_centro_distribuicao1":"3160",
      "id_lote":"3283",
      "pallets":{
        "Pallet 7481":{
          "Caixa Grande 5465":[
            856,
            857,
            858,
            859,
            860,
            861,
            862,
            863,
            864,
            865,
            866,
            867
          ],
          "Caixa Grande 5466":[
            824,
            825
          ]
        }
      }
    }
  ]
}

```

Figura 5.40: Parte superior do resultado da página web referente à etapa de transferência para caixa de leite.

```
"Caixa Grande 5442":[
    1820,
    1821,
    1822,
    1823,
    1824,
    1825,
    1826,
    1827,
    1828,
    1829,
    1830,
    1831
],
"Caixa Grande 5443":[
    2852,
    2853,
    2854,
    2855,
    2856,
    2857,
    2858,
    2859,
    2860,
    2861,
    2862,
    2863
]
}
}
}
}
```

Figura 5.41: Parte inferior do resultado da página web referente à etapa de transferência para caixa de leite.

O resultado obtido para a quarta etapa também se mostrou positivo, atendendo às expectativas. A figura a seguir apresenta os resultados obtidos para a quinta etapa, a etapa relativa à primeira parte da logística.

```

{
  "index":6,
  "message":"New Block Forged",
  "previous_hash":"ba9dc8e719eb1d072a54b99621e734f9056df981fbcac40da47d4e8d726a63df",
  "proof":43538,
  "transactions":[
    {
      "data_saida_caminhao":"2027-08-08 08:16:23.505807",
      "id_caminhao":"2263",
      "id_centro_distribuicao2":"3160",
      "id_emp_log":"1110",
      "id_respp_ent":"3845",
      "ids_pallets_caminhao":[
        "Pallet 7481",
        "Pallet 7482",
        "Pallet 7483",
        "Pallet 7484",
        "Pallet 7485",
        "Pallet 7486",
        "Pallet 7487",
        "Pallet 7488",
        "Pallet 7489",
        "Pallet 7490",
        "Pallet 7491",
        "Pallet 7492",
        "Pallet 7493",
        "Pallet 7494",
        "Pallet 7495",
        "Pallet 7496",
        "Pallet 7497",
        "Pallet 7498",
        "Pallet 7499",
        "Pallet 7500",
        "Pallet 7501",
        "Pallet 7502",
        "Pallet 7503",
        "Pallet 7504",
        "Pallet 7505",
        "Pallet 7506"
      ]
    }
  ]
}

```

Figura 5.42: Resultado da página web referente à primeira parte da etapa de logística.

O resultado obtido para a quinta etapa também se mostrou positivo, atendendo às expectativas. A figura a seguir apresenta os resultados obtidos para a sexta etapa, a etapa relativa à segunda parte da logística.

```

{
  "index":7,
  "message":"New Block Forged",
  "previous_hash":"60130c63c1be8fe582237245bba6c74b0dbd78ef8769841dd26a4f66341c884f",
  "proof":85724,
  "transactions":[
    {
      "data_entrega":"2027-09-06 13:16:23.505807",
      "id_caminhao2":"2263",
      "id_empr_log2":"1110",
      "id_mercado":"4227",
      "id_resp_merc":"5646",
      "id_respp_ent2":"3845",
      "pallets_entregues":[
        "Pallet 7481",
        "Pallet 7482",
        "Pallet 7483"
      ]
    }
  ]
}

```

Figura 5.43: Resultado da página web referente à segunda parte da etapa de logística.

O resultado obtido para a sexta etapa também se mostrou positivo, atendendo às expectativas. As figuras a seguir apresentam novamente uma página *web* relativa à etapa de ordenha, em sequência à última página apresentada.

```

{
  "index":8,
  "message":"New Block Forged",
  "previous_hash":"edc3c6e148c3b2e11541c8f46395e92d8940738215f11dce05b8f886430ab438",
  "proof":51178,
  "transactions":[
    {
      "base_date":"2027-06-24 10:35:24.506808",
      "id_fazenda":"2763",
      "id_peqprod":"1026",
      "id_tanque":"2315",
      "id_vaca":[
        "1726",
        "4388",
        "3781",
        "2466",
        "7174",
        "6381",
        "7217",
        "3745",
        "0753",
        "3071",
        "3628",
        "3238",
        "2035",
        "4287",
        "5365",
        "2847",
        "0733",

```

Figura 5.44: Parte superior do resultado da página web referente a etapa de ordenha.



```

      "8568",
      "2321",
      "1000",
      "1742",
      "8833",
      "2320",
      "1344",
      "6048",
      "5870",
      "7046",
      "1150",
      "7388",
      "0643",
      "1270",
      "5162",
      "8580",
      "4073",
      "5160",
      "1115",
      "3511"
    ],
    "volume_ordenhado":519
  }
}

```

Figura 5.45: Parte inferior do resultado da página web referente a etapa de ordenha.

Dessa forma, vemos que a *blockchain* está sendo minerada de forma adequada, portanto os resultados são parcialmente positivos. Para verificar se os resultados são positivos em sua totalidade, averiguamos a página *web* que apresenta a cadeia em sua totalidade. Tendo em vista que essa página *web* é extremamente extensa por conter todas as informações já apresentadas nas figuras referentes à mineração, o resultado não foi demonstrado em uma figura. No entanto, ao acessar essa página, as informações contempladas são as esperadas. Dessa maneira, obtivemos um sistema *blockchain* que acompanha em tempo real a cadeia de produção do leite, rastreando e acompanhando os processos, registros de tempo e produtos da cadeia.

# Capítulo 6

## Conclusões

Este trabalho propôs a implementação de um sistema de rastreamento em tempo real de cadeia produtiva utilizando como solução a tecnologia *blockchain* e como caso de uso a cadeia produtiva do leite. A solução foi implementada utilizando as linguagens de programação *python* (versão *python3*), *Javascript* e *HTML*. Além disso, foi utilizado o *microframework Flask*, um pequeno *framework web* escrito em *Python*. Baseado nas premissas encontradas nas ideias da indústria 4.0, em conjunto com a utilização da tecnologia *blockchain*, que utilizou o algoritmo criptográfico SHA-256, o mesmo utilizado na criptomoeda *Bitcoin*, o sistema procurou registrar todos os processos, produtos e marcações de tempo da cadeia produtiva do leite de forma imutável e rastreável, garantindo assim, a integridade dos dados.

Por não haver sensoramento real na implementação da prova de conceito executada, todas as variáveis de interesse que teriam sido sensoriadas, foram emuladas. Essas variáveis consistem em volumes, análises de qualidade, registros de tempo, temperatura e identificação de elementos ou entidades. Para o desenvolvimento do sistema, utilizou-se os módulos *hashlib*, *json*, *random*, *time*, *datetime*, *urllib.parse*, *uuid*, *requests* e *flask*. Dentro do sistema foram construídos métodos que pertencem a um sistema típico de *blockchain* e métodos que foram utilizados como ferramentas para gerar os dados emulados a serem inseridos na cadeia de blocos. Métodos típicos de uma *blockchain* são *register node*, *new block*, *new transaction*, *last block*, *hash*, *proof of work*, *valid proof*, *valid chain* e *resolve conflicts*. Por outro lado, os métodos que são relativos ao processos de emulação de dados são *random signal*, *calculo t*

leite, calculo v o, número de quatro dígitos, caixas de um litro, gen timestamp e sum timestamp.

Para a utilização do *framework* Flask foi necessário criar as rotas para que a *blockchain* funcionasse corretamente. Dessa maneira, utilizou-se as seguintes rotas: /mine, /transactions/new, /chain, /nodes/register e /nodes/resolve.

Tendo em vista que a adição de novos nós não está no escopo do trabalho, os métodos register nodes e resolve conflicts, apesar de serem essenciais em um sistema típico de *blockchain*, não foram utilizados. Por conseguinte, as rotas /nodes/register e /nodes/resolve também não foram utilizadas. Na comunicação *peer-to-peer*, seria necessário que houvesse vários nós na rede.

Levando tudo isso em consideração, o resultado se mostrou positivo uma vez que foi obtido um livro-razão digital que guarda e mostra os dados em tempo real para diversas partes da cadeia, possibilitando acesso claro e confiável, onde a descentralização do sistema cria um ambiente robusto, minimizando a possibilidade de manipulação. Os dados foram emulados de forma correta, isto é, da forma como era esperado e a *blockchain* funcionou como uma *blockchain* deveria funcionar, validando o *proof of work*, criando *hashs* adequadamente e com os blocos e transações interligados da forma esperada.

## 6.1 Trabalhos Futuros

Pensando em trabalhos futuros que poderiam enriquecer nosso sistema e nossa prova de conceito, o mais intuitivo seria criar um sistema com mais nós, o que nesse caso não fazia parte do escopo. Com esse registro de mais nós, seria possível fazer a mineração a partir de outros nós, o que poderia gerar duas cadeias diferentes, com tamanhos e quantidades diferentes de blocos. Com isso, seria possível testar o algoritmo de consenso de forma apropriada, uma vez que ele é responsável por decidir qual é a cadeia que realmente será considerada a verdadeira pelos nós da rede.

Outro trabalho futuro interessante, seria desenhar a arquitetura de comunicação entre os sensores, o servidor local e a nuvem, onde estaria a *blockchain*. Com esse trabalho sendo desenvolvido, o sistema se encontraria um pouco mais próximo da realidade e ficaria mais clara a forma como ele deveria ser implementado. Para isso, seria necessário construir uma arquitetura confiável, em que fora do escopo do *blockchain*, a possibilidade de manipulação de dados ainda fosse bastante remota e difícil.

Por fim, um trabalho futuro que poderia dar uma maior profundidade e maior noção de realidade ao sistema, seria ao invés de emular os dados de forma digital a nível apenas de software, utilizar algum microcontrolador relativamente popular, como Raspberry PI ou Arduino, para gerar esses dados de forma digital a nível de *hardware*. Isso representaria uma maior proximidade à realidade e elevaria a prova de conceito a um nível mais completo.

# Referências Bibliográficas

- PEREIRA, A. C., ROMERO, F. “A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept”, *Procedia manufacturing*, v. 13, pp. 1206–1214, 2017.
- ZHOU, K., LIU, T., ZHOU, L. “Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges”. In: *2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)*, pp. 2147–2152. IEEE, 2015.
- TORTORELLA, G. L., SAURIN, T. A., HINES, P., et al. “Myths and facts of industry 4.0”, *International Journal of Production Economics*, v. 255, pp. 108660, 2023.
- KHAN, I. S., AHMAD, M. O., MAJAVA, J. “Industry 4.0 innovations and their implications: An evaluation from sustainable development perspective”, *Journal of Cleaner Production*, v. 405, pp. 137006, 2023.
- MOHAMED, M. “Challenges and benefits of industry 4.0: An overview”, *International Journal of Supply and Operations Management*, v. 5, n. 3, pp. 256–265, 2018.
- ADAMA, H. E., POPOOLA, O. A., OKEKE, C. D., et al. “Economic theory and practical impacts of digital transformation in supply chain optimization”, *International Journal of Advanced Economics*, v. 6, n. 4, pp. 95–107, 2024.
- GRIFFITHS, M. *Improving the safety and quality of milk: Milk production and processing*. Elsevier, 2010.
- TEJOS, R. A. G., DE BRITO CARVALHO, T. C. M., JÚNIOR, M. A. S., et al. “Blockchain aplicado à rastreabilidade da cadeia produtiva do cacau da

- Amazônia”. In: *Anais do XXII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*, pp. 43–56. SBC, 2022.
- MENDONÇA, R. D., GOMES, O. S., PEREIRA, P. C., et al. “Utilização de blockchain na rastreabilidade da cadeia produtiva do leite”. In: *Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações*, pp. 55–60. SBC, 2020.
- CARNERO, P. R., SÁNCHEZ, M. C., COLLADO, Z. M., et al. “El síndrome del aceite tóxico: 30 años después”, *Revista Española de Medicina Legal*, v. 37, n. 4, pp. 155–161, 2011.
- BARROS, C. M. E., LOPES, I. F., DE ALMEIDA, L. B. “Efeito contágio da operação carne fraca sobre o valor das ações dos principais players do mercado de proteínas do Brasil e do México”, *Enfoque: Reflexão Contábil*, v. 38, n. 1, pp. 105–122, 2019.
- ZENG, L., ZHOU, L., PAN, P.-L., et al. “Coping with the milk scandal: A staged approach to crisis communication strategies during China’s largest food safety crisis”, *Journal of Communication Management*, v. 22, n. 4, pp. 432–450, 2018.
- NAKAMOTO, S. “Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system”, 2008.
- VARAVALLO, G., CARAGNANO, G., BERTONE, F., et al. “Traceability platform based on green blockchain: an application case study in dairy supply chain”, *Sustainability*, v. 14, n. 6, pp. 3321, 2022.
- CASTELLÓ FERRER, E. “The blockchain: a new framework for robotic swarm systems”. In: *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2018: Volume 2*, pp. 1037–1058. Springer, 2019.
- AQUINO, M. *Adoção de blockchain na gestão de cadeias de suprimentos do brasil*. Tese de Doutorado, 2019.
- OESTERREICH, T. D., TEUTEBERG, F. “Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry”, *Computers in industry*, v. 83, pp. 121–139, 2016.

- KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J., et al. “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0”, *Final report of the Industrie*, v. 4, n. 0, pp. 82, 2013.
- HERMANN, M., PENTEK, T., OTTO, B. “Design principles for industrie 4.0 scenarios”. In: *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*, pp. 3928–3937. IEEE, 2016.
- WEYER, S., SCHMITT, M., OHMER, M., et al. “Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems”, *Ifac-Papersonline*, v. 48, n. 3, pp. 579–584, 2015.
- POSADA, J., TORO, C., BARANDIARAN, I., et al. “Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet”, *IEEE computer graphics and applications*, v. 35, n. 2, pp. 26–40, 2015.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. “Um panorama da pesquisa em blockchain no Brasil”. 2022. Disponível em: <https://horizontes.sbc.org.br/index.php/2022/05/um-panorama-da-pesquisa-em-blockchain-no-brasil/>. Acesso em: 19 jun. 2024.
- SUNNY, J., UNDRALLA, N., PILLAI, V. M. “Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration”, *Computers & Industrial Engineering*, v. 150, pp. 106895, 2020.
- SCHOLTEN, K., VERDOUW, C., BEULENS, A. “Supply chain transparency: enhancing traceability in the meat industry”, *International Journal of Production Economics*, v. 152, pp. 107–119, 2014.
- KANDEL, C., KLUMPP, M., KEUSGEN, W. “GPS.LAB: A system for traceability using GPS technology in supply chain event management”, *Computers in Industry*, v. 62, n. 8, pp. 776–786, 2011.
- SALAH, K., NIZAMUDDIN, N., JAYARAMAN, R., et al. “Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain”, *IEEE Access*, v. 7, pp. 73295–73305, 2019a.

- CARO, M. P., ALI, M., VECCHIO, M., et al. “Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation”, *IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany*, v. 2018, pp. 1–4, 2018.
- TIAN, F. “An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology”, *Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2016 13th International Conference on*, pp. 1–6, 2016.
- BUMBLAUSKAS, D., MANN, S., DUGAN, B., et al. “A case study on blockchain in the US egg supply chain: Transitioning from ad-hoc to systematic.” *International Journal of Production Research*, v. 58, n. 7, pp. 2384–2398, 2020.
- XU, J., LIANG, L., ZHAO, B. “Design and deployment of a blockchain-based traceability system for food safety”, *IEEE Access*, v. 7, pp. 58377–58389, 2019.
- FIGORILLI, S., URSO, G., CEGLIA, D., et al. “A blockchain implementation prototype for the electronic open marketplace for wood trading”, *Sensors*, v. 18, n. 9, pp. 3133, 2018.
- MENDONÇA, R., CASTRO, R., RIBEIRO, M. “Utilização de Blockchain na Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Leite”, *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 11, n. 3, pp. 1557–1573, 2020.
- MONTEIRO, J., SILVA, A., COSTA, T. “MRPA: Modelo de Rastreabilidade Pervasiva de Agroquímicos”, *Agricultural Informatics*, v. 12, n. 2, pp. 123–137, 2021.
- YALCIN, S., UNAL, A. “Using System Dynamics to Analyze the Societal Impacts of Blockchain Technology in Milk Supply Chains”, *Sustainability*, v. 12, n. 23, pp. 9876, 2020.
- ZHAO, G., LIU, S., LOPEZ, C., et al. “Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions”, *Computers in industry*, v. 109, pp. 83–99, 2019.
- MENEZES, M. T. “O uso da tecnologia blockchain of things na cadeia produtiva do café”, 2022.



- XIE, C., SUN, Y., LUO, H. “Secured Data Storage Scheme Based on Blockchain for Agricultural Products Tracking”. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Big Data Computing and Communications*, pp. 45–50. IEEE, 2017.
- HANG, A., SHEN, Y., CHAI, Y. “Blockchain and IoT based food traceability for smart agriculture”. In: *AC International Conference Proceedings Series*, 2018.
- HUA, J., WANG, X., KANG, M., et al. “Blockchain-Based Provenance for Agricultural Products: A Distributed Platform with Duplicated and Shared Bookkeeping”, *Proceedings of the 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 97–101, 2018.
- SALAH, K., NIZAMUDDIN, N., JAYARAMAN, R., et al. “Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain”, *IEEE Access*, v. 7, pp. 73295–73305, 2019b.
- KIM, S., HILTON, B., BURKS, T., et al. “Integrating Blockchain, Smart Contract-Tokens, and IoT to Design a Food Traceability Solution”. In: *Proceedings of the 9th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference*, pp. 335–340. IEEE, 2019.
- ARENA, A., BIANCHINI, A., PERALDI, R., et al. “BR SC TTA: An IoT Blockchain-Based Framework for Certifying tra irgin live il Supply Chain”, *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Smart Computing*, pp. 173–179, 2019.
- YADAV, V. S., SINGH, A. R. “Use of blockchain to solve select issues of Indian farmers”, *AIP Conference Proceedings*, v. 2148, pp. 020008, 2019.