



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
CECAU - Colegiado do Curso de
Engenharia de Controle e Automação



Gabriel da Silveira Jardim

Técnicas contemporâneas de rastreamento e monitoramento de produtos em cadeias de suprimento e seu impacto na melhoria da rastreabilidade e na gestão de inventário

Monografia de Graduação

OURO PRETO
2025

Gabriel da Silveira Jardim

Técnicas contemporâneas de rastreamento e monitoramento de produtos em cadeias de suprimento e seu impacto na melhoria da rastreabilidade e na gestão de inventário

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Profa. Adrielle de Carvalho Santana



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gabriel da Silveira Jardim

Técnicas contemporâneas de rastreamento e monitoramento de produtos em cadeias de suprimento e seu impacto na melhoria da rastreabilidade e na gestão de inventário

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 01 de agosto de 2025

Membros da banca

Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora - DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Danny Augusto Vieira Tonidandel - Convidado - DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Irce Fernandes Gomes Guimarães - Convidada - DEPRO - Universidade Federal de Ouro Preto

Adrielle de Carvalho Santana, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 07/08/2025



Documento assinado eletronicamente por **Adrielle de Carvalho Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/08/2025, às 12:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0950421** e o código CRC **CD12AA84**.

Resumo

As cadeias de suprimento contemporâneas enfrentam desafios constantes de rastreabilidade e gestão de estoque, o que impulsiona a busca por soluções tecnológicas eficientes. Neste contexto, a Identificação por Radiofrequência (RFID) e a tecnologia *Blockchain* surgem como inovações transformadoras para o setor logístico. A tecnologia RFID permite a identificação e o monitoramento automático de produtos, reduzindo erros humanos e otimizando a gestão de inventário. Por sua vez, o *Blockchain* complementa esse avanço ao oferecer um registro de transações descentralizado e imutável, que, por meio de criptografia e contratos inteligentes, garante a autenticidade e a segurança das informações trocadas na cadeia. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura para analisar o impacto dessas técnicas contemporâneas na melhoria da rastreabilidade e na gestão de inventário, destacando sua aplicabilidade na Engenharia de Controle e Automação. A metodologia empregada foi a de revisão bibliográfica, com análise de artigos científicos, livros e publicações acadêmicas pertinentes ao tema. Como conclusão, observou-se que a adoção integrada de RFID e *Blockchain* eleva a eficiência operacional, com reduções de custos reportadas de até 25% na gestão de estoque e 15% no transporte. As tecnologias promovem aumento na transparência, segurança e confiabilidade dos dados, fortalecendo a confiança do consumidor e auxiliando no cumprimento de normas regulatórias. Apesar de existirem desafios como o custo de implementação e a necessidade de padronização, a aplicação dessas soluções representa um diferencial estratégico para empresas que buscam maior competitividade no mercado global.

Palavras-Chave: *Blockchain*. RFID. Cadeias de Suprimento. Rastreabilidade. Gestão de Inventário. Indústria 4.0. Engenharia de Controle e Automação. Segurança. Eficiência.

Abstract

Contemporary supply chains face constant challenges in traceability and inventory management, driving the search for efficient technological solutions. In this context, Radio Frequency Identification (RFID) and *Blockchain* technology emerge as transformative innovations for the logistics sector. RFID technology allows for the automatic identification and monitoring of products, reducing human errors and optimizing inventory management. In turn, *Blockchain* complements this advancement by offering a decentralized and immutable transaction ledger, which, through cryptography and smart contracts, ensures the authenticity and security of the information exchanged in the chain. The goal of this work was to conduct a literature review to analyze the impact of these contemporary techniques on improving traceability and inventory management, highlighting their applicability in Control and Automation Engineering. The methodology employed was a bibliographic review, with an analysis of scientific articles, books, and academic publications relevant to the topic. In conclusion, it was observed that the integrated adoption of RFID and *Blockchain* enhances operational efficiency, with reported cost reductions of up to 25% in inventory management and 15% in transportation. The technologies promote a significant increase in data transparency, security, and reliability, strengthening consumer trust and assisting with regulatory compliance. Despite challenges such as implementation costs and the need for standardization, the application of these solutions represents a strategic differential for companies seeking greater competitiveness in the global market.

Keywords: *Blockchain*. RFID. Supply Chains. Traceability. Inventory Management. Industry 4.0. Control and Automation Engineering. Security. Efficiency.

Lista de Figuras

Figura 1 – Aplicativo “do Pasto ao Prato”. Fonte: Do Pasto ao Prato	14
Figura 2 – Esquema de funcionamento da <i>Blockchain</i>	16
Figura 3 – Esquema de funcionamento do <i>Big Data</i>	17
Figura 4 – Esquema de funcionamento do RFID	18
Figura 5 – Exemplo de etiqueta RFID utilizada na área de logística	20
Figura 6 – Funcionamento de uma <i>Blockchain</i>	22

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Impacto da implementação de Blockchain na rastreabilidade de produtos alimentícios	39
Tabela 2 - Redução de custos logísticos devido à adoção de RFID e Blockchain no transporte de mercadorias	40

Sumário

1 Introdução	8
1.1 Objetivos.....	10
1.1.1 Objetivo Geral	10
1.1.2 Objetivos Específicos	10
1.2. Justificativas e Relevância.....	10
1.3. Materiais e Métodos	12
1.4. Organização e estrutura	13
2 Fundamentação Teórica e Revisão da Literatura.....	14
2.1 Tecnologias aplicadas ao rastreamento e monitoramento	14
2.1.1 RFID: funcionamento, benefícios e desafios.....	19
2.1.2 <i>Blockchain</i> : conceito, aplicações e vantagens na rastreabilidade.....	21
2.2. Cadeias de suprimento na era da Indústria 4.0	23
2.3 Digitalização e automação na logística	26
3 Aplicação do <i>Blockchain</i> e RFID na gestão de cadeias de suprimento	30
3.1 <i>Blockchain</i> na gestão de cadeias de suprimento.....	30
3.2 RFID na gestão de cadeias de suprimento.....	32
3.3 Integração de tecnologias na Engenharia de Controle e Automação.....	35
4 Aplicação das tecnologias RFID e <i>Blockchain</i>	38
4.1 Efeitos práticos da RFID e <i>Blockchain</i> : desafios e limitações	38
4.2 Desafios na aplicação das tecnologias RFID e <i>Blockchain</i> na gestão de cadeias de suprimento	42
5. Considerações finais	45
Referências	47

1 Introdução

As metodologias atuais de monitoramento e rastreamento de produtos nas cadeias de suprimento foram revolucionadas por tecnologias como a *Radio Frequency Identification (RFID)* (Identificação por Radiofrequência) e o *Blockchain*. Essas inovações resultaram em uma melhoria significativa na eficácia, segurança e automação dos processos logísticos. No campo da Engenharia de Controle e Automação, tais tecnologias são fundamentais para otimizar o fluxo de informações e facilitar a integração de sistemas inteligentes que realizam a supervisão em tempo real. A automação desses processos, combinada com o uso de sensores, redes de comunicação industrial e algoritmos avançados, contribui para diminuir os erros humanos e aumentar a eficiência operacional nas cadeias de suprimentos contemporâneas.

Com o advento da Indústria 4.0, a integração de tecnologias digitais, sistemas ciberfísicos e inteligência artificial está transformando a maneira como os produtos são monitorados e gerenciados. Esse avanço tecnológico tem aumentado a transparência e a confiabilidade nas operações logísticas.

A introdução do RFID na automação industrial possibilita o monitoramento dos registros em tempo real, reduzindo erros e aprimorando o fluxo de produtos durante o processo de produção. Essa tecnologia utiliza etiquetas eletrônicas e leitores de radiofrequência que captam e transmitem dados de forma automática para sistemas integrados, eliminando a necessidade de conferências manuais e diminuindo consideravelmente o tempo para a obtenção de informações. Adicionalmente, o uso de redes de sensores industriais com a tecnologia RFID permite o reconhecimento e o rastreamento precisos de mercadorias em tempo real, garantindo maior controle e eficiência nos processos logísticos. Na Engenharia de Controle e Automação, isso representa um avanço na implementação de sistemas autônomos e inteligentes, capazes de operar em conjunto com controladores lógicos programáveis (CLPs) e outras soluções industriais modernas.

A utilização do *Blockchain* para a rastreabilidade de produtos destaca-se por sua capacidade de oferecer segurança, precisão e transparência às informações ao longo da cadeia de suprimentos. A estrutura de dados descentralizada desse sistema assegura que cada transação seja registrada de forma permanente e imutável, o que ajuda a prevenir fraudes e a garantir a integridade dos processos logísticos. No campo da Engenharia de Controle e Automação, a tecnologia *Blockchain* pode ser incorporada aos sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) para criar redes industriais mais seguras. Nesse contexto, cada transação

registrada no sistema distribuído é validada de forma automática e armazenada de maneira confiável. Essa característica é particularmente importante em setores que requerem alta confiabilidade, como na indústria farmacêutica, na automação de armazéns inteligentes e na rastreabilidade agroindustrial.

A combinação de RFID, *Blockchain* e IoT (*Internet of Things*) possibilita a criação de redes logísticas ainda mais sofisticadas na automação de cadeias de fornecimento. Nesses sistemas, máquinas, sensores e ferramentas de processamento de dados comunicam-se de forma autônoma para otimizar as operações. Sensores de IoT, por exemplo, coletam dados sobre temperatura, umidade e outras condições em tempo real durante o processo produtivo, o que é fundamental para preservar a qualidade de produtos sensíveis, como medicamentos e alimentos perecíveis. Esse método aprimora a precisão das previsões e reduz o desperdício, permitindo que ferramentas analíticas examinem tendências de demanda e façam ajustes ágeis nos estoques. Para a Engenharia de Controle e Automação, essas aplicações oferecem a oportunidade de desenvolver sistemas inteligentes e soluções de automação avançada.

A adoção dessas tecnologias também fortalece a sustentabilidade do sistema de suprimentos, facilitando o fluxo de materiais e ajudando a diminuir os impactos ambientais. A rastreabilidade digital, aliada a sensores inteligentes e aos registros permanentes do *Blockchain*, possibilita uma gestão eficaz do ciclo de vida dos produtos, assegurando que materiais recicláveis sejam devidamente identificados e reutilizados. Além disso, os sistemas de automação podem otimizar rotas logísticas e o consumo de energia nos transportes, reduzindo a pegada de carbono das atividades industriais. Assim, a Engenharia de Controle e Automação tem um papel crucial na busca por soluções que tornem as cadeias produtivas mais eficientes e sustentáveis.

Apesar dos claros benefícios, a implementação dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, como os altos custos de infraestrutura, a necessidade de padronização dos protocolos de comunicação e a integração de sistemas legados com as novas plataformas digitais. Adicionalmente, é fundamental que engenheiros e técnicos sejam capacitados para implementar e gerenciar essas soluções, sendo este um fator essencial para assegurar uma adoção bem-sucedida e para lidar com os desafios operacionais.

Com o avanço da Indústria 4.0 e a crescente digitalização dos processos, é esperado que essas barreiras sejam superadas e que a adoção de técnicas avançadas de rastreamento se torne uma prática comum em cadeias de suprimento altamente automatizadas.

Dessa forma, a combinação de RFID, *Blockchain* e automação industrial promove uma mudança importante na forma como se faz a rastreabilidade e a gestão de estoques, oferecendo

mais controle, eficiência e segurança. A aplicação dessas tecnologias na Engenharia de Controle e Automação possibilita o desenvolvimento de soluções inteligentes e integradas, viabilizando a criação de sistemas logísticos autônomos e sustentáveis. Com o avanço da digitalização industrial, espera-se que essas inovações se tornem cada vez mais acessíveis e fundamentais para empresas que buscam maior competitividade em um mercado global dinâmico.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o impacto das técnicas contemporâneas de rastreamento e monitoramento de produtos, como RFID e *Blockchain*, na melhoria da rastreabilidade e na gestão de inventário em cadeias de suprimento, destacando sua aplicabilidade na Engenharia de Controle e Automação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais tecnologias utilizadas no rastreamento e monitoramento de produtos e sua relação com a automação industrial.
- Avaliar os benefícios e desafios da implementação do RFID e do *Blockchain* em cadeias de suprimento.
- Investigar como essas tecnologias contribuem para a eficiência operacional e a redução de custos logísticos.
- Analisar os desafios e benefícios da integração dessas soluções em processos industriais automatizados.

1.2 Justificativas e Relevância

A rastreabilidade e o monitoramento adequado dos produtos nas cadeias de suprimento são essenciais para garantir a competitividade e a sustentabilidade das operações logísticas na era da Indústria 4.0. O progresso na tecnologia possibilitou a adoção de soluções inovadoras, como RFID e *Blockchain*, que oferecem um controle e uma segurança mais eficazes sobre o transporte de mercadorias. Na área de Engenharia de Controle e Automação, essas tecnologias

são fundamentais para a integração de sistemas inteligentes, ajudando a tornar os processos mais eficientes, a diminuir os desperdícios e a promover uma melhoria na eficiência operacional. A relevância deste estudo está diretamente ligada à crescente demanda por automação e digitalização nas cadeias produtivas, que buscam diminuir erros, aumentar a transparência e possibilitar a tomada de decisões fundamentadas em dados em tempo real.

A razão para estudar técnicas contemporâneas de rastreamento e monitoramento de produtos reside no impacto direto que essas inovações causam na logística atual, principalmente em setores essenciais como o farmacêutico, alimentício, automotivo e de bens de consumo. A utilização da tecnologia RFID, por exemplo, possibilita o monitoramento automático dos produtos durante todo o processo de produção, evitando enganos e diminuindo consideravelmente o tempo necessário para gerenciar o estoque e movimentar as mercadorias. O *Blockchain*, por sua vez, garante a integridade das informações, assegurando que todas as transações registradas sejam imutáveis e passíveis de auditoria, o que é fundamental para a confiança nos processos logísticos. Assim, a Engenharia de Controle e Automação desempenha um papel fundamental na adoção dessas tecnologias, garantindo que os sistemas se integrem de maneira eficiente e que os processos sejam aprimorados por meio da automação inteligente.

Adotar essas soluções é também essencial para garantir a sustentabilidade das cadeias de suprimento, pois ajuda a diminuir o desperdício e a tornar as operações mais eficientes em termos de consumo de energia. A rastreabilidade digital oferece uma maneira mais eficaz de gerenciar recursos, assegurando que os produtos sejam utilizados da melhor forma e reduzindo o descarte inadequado. Além disso, a utilização de sensores de IoT em conjunto com a tecnologia RFID possibilita o monitoramento em tempo real das condições do ambiente durante o transporte de mercadorias, o que é fundamental para assegurar a qualidade de produtos sensíveis, como medicamentos e alimentos com data de validade curta.

Na área da Engenharia de Controle e Automação, essa capacidade de monitoramento marca um grande progresso na criação de sistemas autônomos e sustentáveis, capazes de funcionar de forma eficiente e confiável em ambientes industriais complexos.

Outro aspecto importante que justifica a exploração do tema é o impacto direto da rastreabilidade digital na segurança e transparência das operações logísticas. Com o crescimento das exigências regulatórias, a habilidade de assegurar a autenticidade e a conformidade dos produtos em toda a cadeia de suprimentos tornou-se um fator de competitividade fundamental. Nesse contexto, o *Blockchain* se apresenta como uma solução sólida para garantir que as transações sejam registradas de forma imutável, possibilitando que empresas e consumidores tenham mais confiança na origem dos produtos que adquirem.

A Engenharia de Controle e Automação, ao unir essas tecnologias aos sistemas industriais, possibilita alcançar um novo nível de eficiência e segurança em cadeias de suprimento que estão se tornando cada vez mais complexas e globais.

1.3. Materiais e Métodos

Esta monografia foi desenvolvida por meio da metodologia de revisão bibliográfica, com o propósito de analisar criticamente a literatura acadêmica sobre técnicas contemporâneas de rastreamento e monitoramento de produtos. O foco da pesquisa recai sobre as tecnologias RFID e *Blockchain* e seu impacto na melhoria da rastreabilidade e na gestão de inventário em cadeias de suprimento, contextualizando suas aplicações no campo da Engenharia de Controle e Automação. A abordagem metodológica se justifica pela necessidade de consolidar o conhecimento existente, mapear a evolução dos conceitos e compreender os efeitos práticos da implementação dessas tecnologias.

A pesquisa foi realizada em bases de dados científicas de ampla circulação acadêmica, como Google Acadêmico, Scopus, Periódicos Capes e Web of Science. As buscas foram conduzidas utilizando combinações de palavras-chave em português e inglês, incluindo: "RFID", "*Blockchain*", "cadeia de suprimentos", "*supply chain*", "rastreabilidade", "*traceability*", "gestão de inventário" e "*inventory management*". Os critérios de inclusão para a seleção dos trabalhos foram: (i) artigos, teses e dissertações publicados preferencialmente nos últimos cinco anos, para garantir a atualidade da discussão, sem descartar trabalhos seminais de maior impacto; (ii) publicações nos idiomas português e inglês; e (iii) relevância direta ao tema, com foco em aplicações práticas e estudos de caso. Foram excluídos os trabalhos que abordavam as tecnologias de forma puramente teórica, sem conexão com a logística, ou cuja metodologia não apresentava o rigor acadêmico necessário.

A revisão da literatura permitiu comparar diferentes abordagens sobre a aplicação de RFID e *Blockchain*, identificando os benefícios, as limitações e as oportunidades de melhoria. A análise buscou, ainda, compreender as principais dificuldades para a implementação dessas tecnologias, como os custos de infraestrutura e os desafios técnicos de integração. A organização do conhecimento existente visa contribuir para a discussão acadêmica e para a formulação de estratégias mais eficientes para a adoção dessas tecnologias em diferentes setores da economia.

Ao optar pela revisão bibliográfica como método, este estudo não apenas compila informações existentes, mas também promove uma reflexão crítica sobre as implicações práticas do uso de RFID e *Blockchain* na gestão de suprimentos. Desta forma, a pesquisa se insere nas discussões sobre a transformação digital no setor de logística, oferecendo uma base sólida que pode ser útil tanto para investigações futuras quanto para a aplicação dessas ferramentas na melhoria da rastreabilidade e do gerenciamento de estoques.

1.4 Organização e estrutura

Este estudo foi organizado com o objetivo de oferecer uma compreensão completa das técnicas contemporâneas de rastreamento e monitoramento de produtos nas cadeias de suprimento, enfatizando a relevância da tecnologia RFID e do *Blockchain* no campo da Engenharia de Controle e Automação. O capítulo de Introdução, em sua essência, estabelece o cenário e a importância do tema abordado, enfatizando a urgência de melhorar os processos logísticos por meio da adoção de tecnologias inovadoras. Na sequência, são definidos os objetivos gerais e específicos, que traçam as principais questões que guiam a investigação.

Na sequência, a revisão da literatura aborda os conceitos centrais que estão interligados ao tema em questão, analisando a evolução das cadeias de suprimento, a transformação digital dos processos logísticos e a relevância da Indústria 4.0 na atualização das práticas de rastreabilidade e monitoramento. Neste trabalho, são analisadas as particularidades e usos do RFID e do *Blockchain*, destacando a forma como essas tecnologias podem ser integradas para aprimorar a administração de estoques e garantir maior transparência nas atividades logísticas.

Na próxima etapa, foram abordados os efeitos das tecnologias analisadas na melhoria das cadeias de suprimento, explorando estudos de caso da literatura e evidências que atestam sua eficácia. Neste estudo, são examinados os benefícios, os desafios e as limitações associados à utilização do RFID e do *Blockchain*, bem como as perspectivas futuras para a sua implementação em ambientes industriais que adotam a automação.

No capítulo de conclusão, as considerações finais apresentam uma síntese dos principais resultados alcançados na pesquisa, ressaltando as contribuições que este estudo traz para a área de Engenharia de Controle e Automação. Ademais, são apresentadas sugestões para possíveis desdobramentos em investigações futuras. Essa organização propicia uma análise detalhada do assunto, estabelecendo uma fundação robusta para a implementação de soluções inovadoras no âmbito da automação logística.

2 Fundamentação Teórica e Revisão da Literatura

2.1 Tecnologias aplicadas ao rastreamento e monitoramento

A adoção de sensores e dispositivos integrados à Internet das Coisas (IoT) possibilita o acompanhamento em tempo real de fatores essenciais, como temperatura, umidade e a movimentação dos produtos, assegurando que as condições ideais para armazenamento e transporte sejam mantidas. Esse avanço tecnológico não apenas aprimora a qualidade do produto final, mas também favorece a sustentabilidade, pois torna possível um gerenciamento mais eficiente dos recursos e a diminuição de desperdícios.

No setor agropecuário, por exemplo, as tecnologias de rastreamento estão sendo utilizadas para aprimorar a rastreabilidade da carne. Isso possibilita que os consumidores tenham acesso à informação sobre a origem dos produtos e assegura o cumprimento rigoroso das normas de segurança alimentar. Uma iniciativa notável nesse sentido é o aplicativo "Do Pasto ao Prato", criado com a finalidade de promover maior transparência na cadeia produtiva da carne bovina no Brasil, como ilustra a Figura 1:

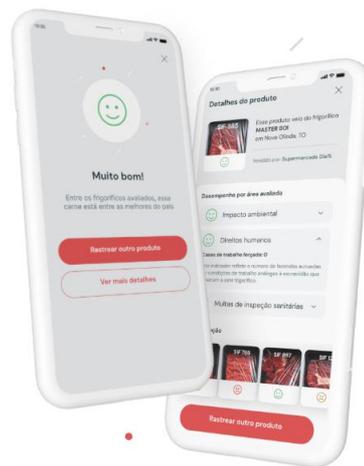


Figura 1 – Aplicativo “do Pasto ao Prato”. Fonte: Do Pasto ao Prato¹

Por meio do código de inspeção sanitária presente nas embalagens, os consumidores conseguem obter informações detalhadas sobre a procedência do produto, incluindo dados

¹ <https://www.dopratoaopasto.com.br/>

referentes às práticas ambientais e sociais ligadas à sua produção. Além de incentivar decisões mais conscientes, o aplicativo desempenha um papel importante na criação de um banco de dados colaborativo, que serve de suporte para investigações acadêmicas e políticas públicas direcionadas à sustentabilidade na pecuária.

Uma das inovações mais importantes no campo do rastreamento e monitoramento é o *Blockchain*, que se destaca por sua habilidade em garantir segurança, transparência e a imutabilidade dos dados. Nas cadeias de suprimentos, o *Blockchain* possibilita que todas as transações e movimentações de produtos sejam registradas de maneira descentralizada e acessível a todos os envolvidos, eliminando a necessidade de intermediários. Isso estabelece um sistema de rastreabilidade eficiente, no qual a origem e o caminho dos produtos podem ser conferidos por qualquer pessoa interessada, abrangendo desde os fornecedores até os consumidores finais (Mesquita, 2024).

A utilização do *Blockchain* na administração da cadeia de suprimentos de empresas do segmento varejista tem se revelado uma solução eficaz para garantir a qualidade, minimizar fraudes e fortalecer a confiança dos consumidores (Mesquita, 2024). Esta tecnologia pode ser compreendida como uma estrutura de dados formada por uma cadeia de blocos interligados, nos quais cada bloco armazena um conjunto de transações juntamente com um identificador único (*hash*) gerado por meio de funções criptográficas. Cada bloco contém, além de suas próprias informações e do registro temporal (*timestamp*), o *hash* do bloco anterior, criando uma sequência encadeada e imutável. Essa característica garante a integridade e a segurança das informações, pois qualquer alteração em um bloco modificaria seu *hash* e, conseqüentemente, invalidaria todos os blocos subsequentes. A Figura 2 ilustra de forma simplificada o funcionamento dessa estrutura, evidenciando a ligação entre os blocos e a geração dos *hashes* que garantem a imutabilidade da cadeia:



Figura 2 – Esquema de funcionamento da *Blockchain*. Fonte: Certfy (2025)²

Além de assegurar a rastreabilidade, as tecnologias de rastreamento possuem função essencial na coleta e análise de dados, o que é fundamental para a tomada de decisões estratégicas. A união de *Big Data* e inteligência artificial possibilita que empresas examinem enormes quantidades de dados em tempo real, reconhecendo padrões, tendências e possíveis anomalias que podem impactar a eficiência das operações. O uso dessas ferramentas possibilita um controle mais eficaz dos estoques, além de facilitar a previsão da demanda de produtos e a otimização das rotas de entrega.

Essa prática não apenas ajuda a diminuir os custos operacionais, mas também aprimora o atendimento ao cliente, pois as empresas conseguem prever as demandas do mercado e proporcionar respostas mais rápidas e eficazes (Alves et al., 2021).

O ecossistema de *Big Data* pode ser representado pelo processo de extração, transformação e carregamento de dados (ETL/ELT), no qual informações de diferentes sistemas corporativos, como sistemas de gestão empresarial (ERP), gestão de relacionamento com clientes (CRM) e aplicações de linha de negócios (*LOB Apps*), são consolidadas em um repositório central conhecido como *Data Warehouse*. Esse repositório pode ser dividido em subconjuntos temáticos chamados *Data Marts*, específicos para áreas como vendas, finanças e produtos, facilitando o acesso segmentado aos dados. A partir dessas estruturas, é possível realizar análises baseadas em linguagem SQL, gerar visualizações por meio de ferramentas de

²https://cdn.prod.website-files.com/610696fae25c8c705078403f/667b2568e5a669f289852f4d_Blockchain-como-funciona.png

Business Intelligence (BI) e produzir relatórios gerenciais. Esses recursos possibilitam maior suporte à tomada de decisão estratégica e à inteligência de negócios da organização, conforme ilustrado na Figura 3.:

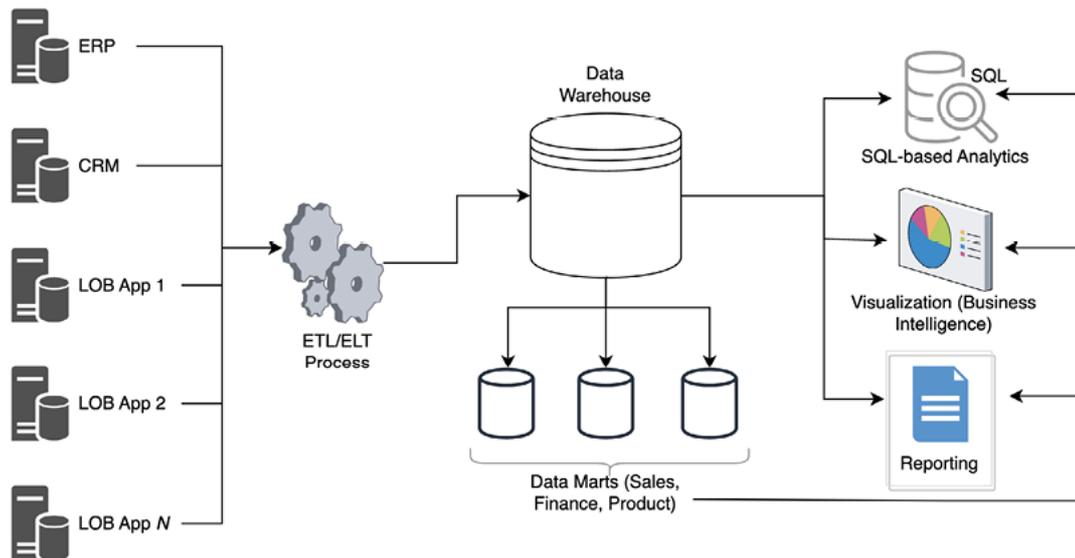


Figura 3 – Esquema de funcionamento do *Big Data*. Fonte: Tuppy (2023)³

No ramo de alimentos, o acompanhamento e a supervisão são essenciais para assegurar tanto a qualidade quanto a segurança dos produtos. A rastreabilidade possibilita que as empresas monitorem cada fase do processo produtivo, desde a procedência dos materiais utilizados até a entrega do produto final ao consumidor. Isso é especialmente importante para os alimentos que passaram por um processamento mínimo, pois esses estão mais propensos à deterioração e à contaminação (LEON et al., 2024).

A utilização de tecnologias de rastreamento, como os sistemas de RFID, oferece um controle mais eficaz sobre as etapas de embalagem e transporte, assegurando que os produtos sejam armazenados e manuseados conforme as normas de segurança alimentar (Leon et al., 2024). O funcionamento deste sistema envolve a utilização de etiquetas eletrônicas (*tags RFID*), que contêm informações únicas, e antenas responsáveis por emitir sinais de rádio para capturar esses dados. As antenas enviam as informações coletadas para um dispositivo leitor (*RFID Reader*), que transmite os dados por meio de um concentrador de rede (*Network Hub*) para um controlador central. Esse controlador, representado pelo *Link HUB Multi-Device Controller*, integra os dados em uma plataforma de Internet das Coisas (*IoT Platform*), permitindo o processamento e a análise das informações em tempo real. Por meio dessa

³ https://static.packt-cdn.com/products/9781804614426/graphics/Images/B19131_02_01.png

plataforma, os dados podem ser acessados de forma remota via navegadores *web* ou dispositivos móveis, oferecendo rastreabilidade, controle e gerenciamento eficientes de ativos, conforme ilustrado na Figura 4:

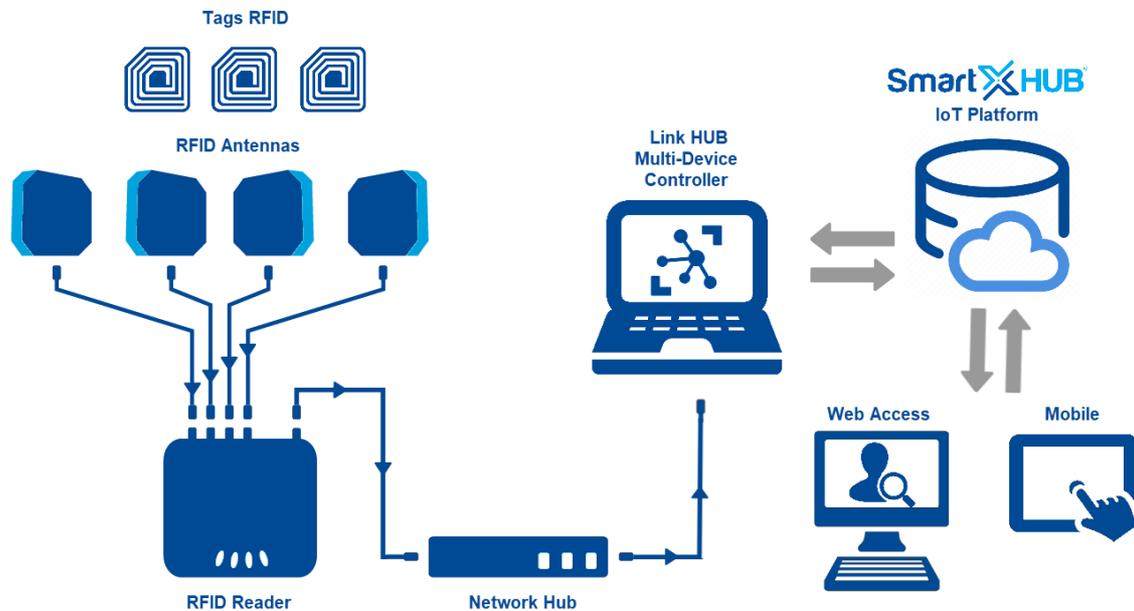


Figura 4 – Esquema de funcionamento do RFID. Fonte: Smartx Hub Brasil (2025)⁴

Outra inovação que vem surgindo na área de rastreamento é o uso de drones e veículos autônomos para a entrega de mercadorias. No âmbito das cadeias de suprimento, esses dispositivos se destacam pela eficiência em monitorar regiões de difícil acesso e na execução de entregas de última milha. O uso de drones, por exemplo, pode representar uma alternativa inovadora para monitorar o transporte de cargas em regiões rurais, onde a infraestrutura viária é escassa. Além disso, os drones podem ser utilizados para acompanhar as condições climáticas, permitindo que as empresas prevejam possíveis problemas e adotem medidas corretivas antes que isso impacte o transporte ou a qualidade do produto (Piovesan, 2020).

A digitalização das cadeias de suprimento tem avançado rapidamente, impulsionada pela crescente incorporação de tecnologias de ponta que favorecem uma integração mais eficiente entre os diversos elos da cadeia. A adoção de plataformas digitais e sistemas integrados de rastreamento torna mais fácil a comunicação e o intercâmbio de informações entre fornecedores, fabricantes, distribuidores e consumidores. A digitalização não apenas aumenta a

⁴ <https://smartxhub.com.br/wp-content/uploads/2021/10/Smartxdigram.png>

eficiência das operações, mas também permite a coleta e o uso de dados, o que aprimora a tomada de decisões e estimula a inovação. Em diversas situações, a rastreabilidade digital se combina com a sustentabilidade, pois possibilita o monitoramento de ações ambientais, como o consumo de energia e a utilização de recursos naturais, auxiliando as empresas na diminuição de sua pegada ecológica e na adequação às exigências do mercado (Da Silveira; Capponi, 2025).

A utilização de tecnologias de rastreamento e monitoramento tem se mostrado uma ferramenta fundamental para lidar com os desafios impostos pela escassez de recursos e pelo crescimento da demanda por práticas mais sustentáveis. O rastreamento digital possibilita que as organizações reconheçam e reduzam desperdícios em suas cadeias de suprimento, o que ajuda a diminuir custos e a aprimorar o desempenho ambiental. Ademais, essas tecnologias têm um papel fundamental na prevenção de crises e na gestão de riscos, visto que possibilitam o acompanhamento constante dos processos e a detecção antecipada de questões, aspecto especialmente importante em áreas como a mineração, onde a rastreabilidade é fundamental para assegurar a conformidade com as normas ambientais e de segurança (Da Silveira; Capponi, 2025).

2.1.1 RFID: funcionamento, benefícios e desafios

A Identificação por Radiofrequência, conhecida como RFID, desponta como uma das inovações mais significativas na área de rastreamento e controle de produtos ao longo das cadeias de suprimento. Sua aplicação tem se destacado principalmente em áreas que exigem um controle minucioso da movimentação e do armazenamento de produtos, como nos setores alimentício, farmacêutico, de varejo e até mesmo na mineração.

O funcionamento da tecnologia RFID baseia-se na utilização de ondas de rádio para capturar e transmitir informações armazenadas em um dispositivo eletrônico, conhecido como tag, que é fixado ao produto.

Essas etiquetas podem ser classificadas como passivas ou ativas, dependendo da necessidade de acompanhar informações em tempo real. As tags passivas não contêm bateria e precisam do sinal emitido pelo leitor RFID para transmitir a informação, ao passo que as tags ativas dispõem de uma fonte de energia própria, o que lhes permite enviar sinais de forma autônoma. O RFID oferece uma maneira automatizada de identificação, dispensando a intervenção manual e trazendo mais rapidez, precisão e escalabilidade na administração de

estoques e no monitoramento de produtos (Martins et al., 2025). A seguir, na Figura 5, é apresentado um exemplo de etiqueta RFID:

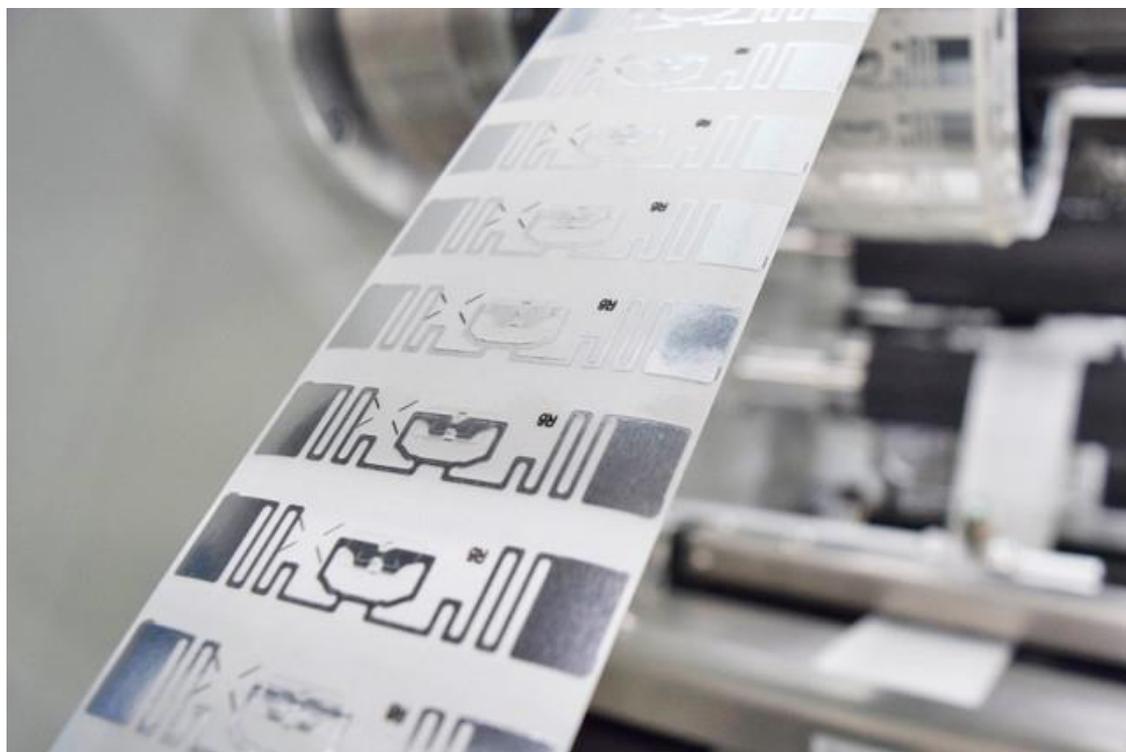


Figura 5 – Exemplo de etiqueta RFID utilizada na área de logística. Fonte: Haco Etiquetas (2025)⁵

Um dos maiores benefícios da aplicação da tecnologia RFID é a notável otimização na eficiência operacional das cadeias de suprimento. O RFID possibilita a obtenção imediata de dados referentes ao produto, dispensando o contato direto, ao contrário do que acontece com os códigos de barras convencionais. Essa prática agiliza o procedimento de inventário, diminuindo o tempo necessário para a contagem e verificação de estoque. Em um cenário de cadeias de suprimento globais, a tecnologia RFID se revela uma ferramenta fundamental para empresas que desejam aprimorar suas operações e assegurar a entrega oportuna de seus produtos (Alves et al., 2021).

Ademais, a implementação do RFID desempenha um papel importante na diminuição dos erros humanos. A automação dos processos de leitura e coleta de dados elimina a chance de erros que podem ocorrer com o manuseio manual das informações, resultando em maior precisão e na redução de custos relacionados a retrabalho. No setor alimentício, por exemplo, o RFID pode ser aplicado para acompanhar as condições de armazenamento e transporte de

⁵ <https://images.app.goo.gl/umpFJCiPFEB3rxmq7>

itens perecíveis, assegurando que os produtos permaneçam nas condições ideais. Esse aprimoramento não apenas eleva a segurança alimentar, mas também auxilia a diminuir desperdícios, uma vez que os dados em tempo real podem ser utilizados para otimizar os processos logísticos (Léon et al., 2024).

Outro benefício relevante do RFID é sua capacidade de aumentar a transparência em toda a cadeia de suprimento. A utilização da tecnologia possibilita o registro de todas as informações de movimentação de um produto em um banco de dados de fácil acesso, o que agiliza auditorias e o acompanhamento do trajeto do item. Essa transparência é particularmente importante em um contexto em que os consumidores se tornam cada vez mais criteriosos em relação à qualidade e à sustentabilidade dos produtos que adquirem. Para as empresas, a transparência facilita o cumprimento de regulamentações estritas, como as de segurança alimentar e padrões de qualidade internacionais (Mesquita, 2024).

Entretanto, sua implementação traz desafios que precisam ser avaliados. Um dos grandes obstáculos é o investimento inicial, que pode ser alto para pequenas e médias empresas, envolvendo o custo das tags, leitores e da infraestrutura de *software* necessária. Outro desafio é a interoperabilidade, pois a variedade de padrões tecnológicos de RFID pode complicar a comunicação entre sistemas de diferentes empresas, exigindo a implementação de padrões uniformes para garantir a troca de informações. A segurança da informação também é uma preocupação, demandando o uso de criptografia e protocolos rigorosos para proteger os dados contra acessos não autorizados e ataques cibernéticos. Por fim, a integração do RFID com outras inovações, como *IoT* e *Big Data*, embora potente, requer uma infraestrutura tecnológica sofisticada e a capacidade de gerenciar grandes volumes de dados (Léon et al., 2024).

2.1.2 *Blockchain*: conceito, aplicações e vantagens na rastreabilidade

Tradicionalmente vinculada ao *Bitcoin*, a tecnologia *Blockchain* é, em sua essência, um sistema de registro distribuído que armazena transações de forma descentralizada, segura e permanente. Seu funcionamento se apoia em uma cadeia de blocos interligados por criptografia. Cada bloco contém um conjunto de transações que, antes de serem adicionadas à cadeia, precisam ser validadas por consenso entre os participantes da rede (chamados de nós). Uma vez que um bloco é adicionado, a informação contida nele não pode ser alterada sem que todos os blocos subsequentes também sejam modificados, o que é computacionalmente inviável, garantindo a imutabilidade dos registros. Essa característica é uma das principais razões pelas quais o *Blockchain* se destaca como uma ferramenta eficaz na rastreabilidade de produtos

(Morelli, 2024). A cadeia de blocos correspondente ao funcionamento do *Blockchain* está representada na Figura 6:

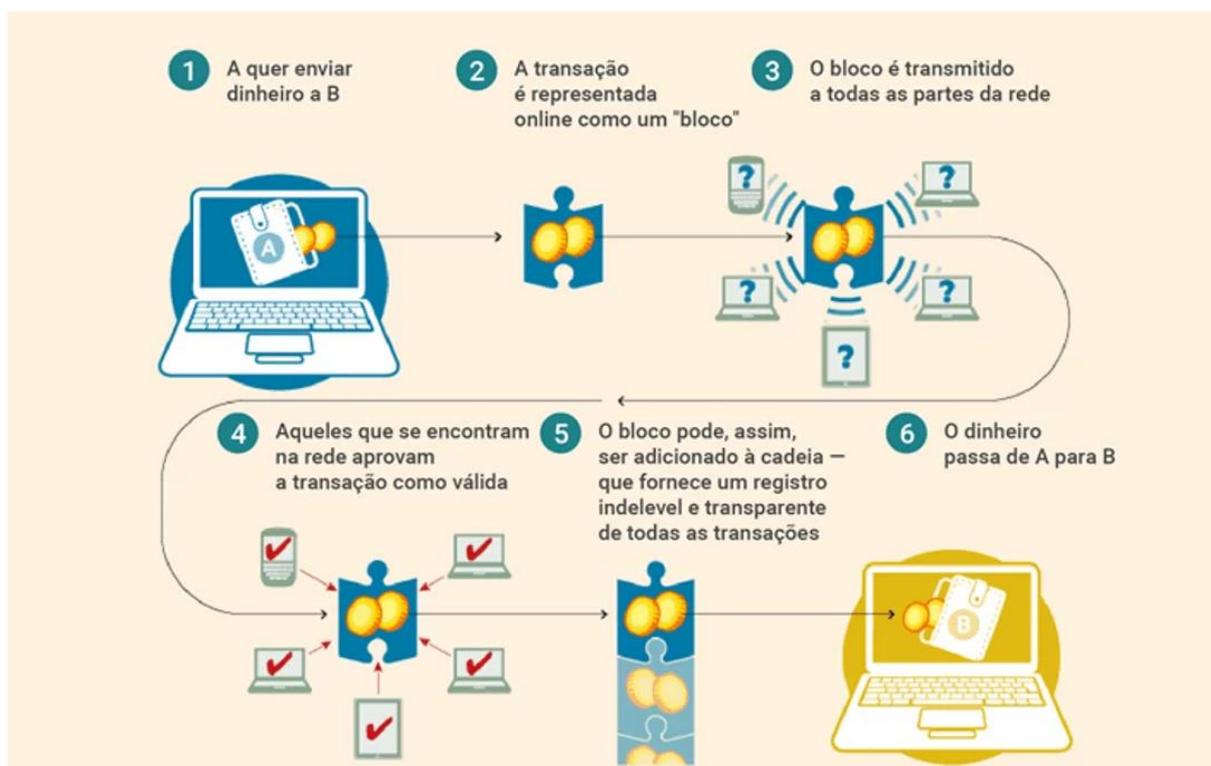


Figura 6 – Funcionamento de uma *Blockchain*. Fonte: Chagas (2019)⁶

No âmbito das cadeias de suprimento, a utilização do *Blockchain* tem se tornado cada vez mais significativa por sua habilidade de oferecer transparência e confiabilidade em todas as fases dos processos logísticos. A rastreabilidade de produtos é extremamente importante, especialmente em áreas como os setores alimentício e farmacêutico. A tecnologia possibilita que se registre de maneira clara e acessível as informações acerca da origem, do transporte e das condições de armazenamento dos produtos para todos os participantes da cadeia. Esse procedimento não apenas fortalece a confiança no processo, mas também simplifica a adequação às normas de segurança e qualidade, uma vez que todas as fases são registradas de forma auditável e segura (Figueiredo, 2023).

Uma das grandes vantagens do *Blockchain* quando comparado a sistemas centralizados é sua capacidade de assegurar a descentralização dos dados. Enquanto tecnologias como o *RFID* podem depender de uma infraestrutura centralizada para a coleta de dados, o *Blockchain* distribui os registros por uma rede de diversos participantes, tornando o sistema mais seguro e

⁶ <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/Blockchain>.

menos vulnerável a falhas ou ataques. Além disso, essa estrutura dispensa a necessidade de intermediários para a verificação de transações, o que resulta em uma diminuição de custos e na aceleração dos processos.

A utilização do *Blockchain* para a rastreabilidade de produtos traz vantagens consideráveis no que diz respeito à confiança do consumidor. A tecnologia permite que as informações relacionadas a um produto sejam armazenadas em um livro-razão imutável e acessível, tornando o processo de monitoramento mais claro. No campo da alimentação, por exemplo, os consumidores podem checar a procedência de um item, as condições de transporte e armazenamento, a data de validade e a conformidade com as normas de segurança. Isso eleva a confiança, principalmente em uma época em que a procura por produtos sustentáveis e éticos está em ascensão (Carvalho, 2023).

Por fim, o uso da tecnologia *Blockchain* pode aprimorar a eficiência na administração de cadeias de suprimento, pois a automação das transações e o registro de dados em tempo real favorecem uma coordenação mais eficaz entre os diferentes envolvidos. Por exemplo, fornecedores podem registrar automaticamente a produção de um lote, enquanto distribuidores atualizam a entrega aos pontos de venda. Essa troca constante de informações diminui a necessidade de anotações manuais e a possibilidade de erros humanos, tornando a cadeia mais eficiente e rápida, o que pode levar a uma diminuição nos custos operacionais e a uma melhor experiência para o cliente final (Magalhães, 2023).

2.2. Cadeias de suprimento na era da Indústria 4.0

O avanço das cadeias de suprimento é um dos fatores que mais tem sofrido influência com a quarta revolução industrial, chamada de Indústria 4.0. Esse conceito envolve uma série de inovações tecnológicas que estão transformando a forma como as empresas funcionam, se relacionam com seus fornecedores e clientes e administram seus processos logísticos. A Indústria 4.0 destaca-se pela integração de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (*IoT*), inteligência artificial (*IA*), *Big Data* e automação avançada.

Essas tecnologias possibilitam maior eficiência, clareza e rastreabilidade nas cadeias de suprimento. As empresas estão investindo cada vez mais em tecnologias digitais para melhorar suas operações e gerenciar seus estoques, desde a produção até a destinação final, assegurando mais precisão e controle nas decisões logísticas. Conforme apontam Silva e Kawakame (2019):

[...] apresenta um novo ciclo da logística, totalmente conectada, trazendo ganho de eficiência, velocidade, redução de custos e disponibilidade de informações, permitindo melhores tomadas de decisões baseadas em dados, beneficiando todos os envolvidos, desde o fornecedor até o cliente final, além de competitividade no mercado global.

A ideia de cadeias de suprimento na era da Indústria 4.0 está conectada à supervisão dos processos. Novas tecnologias, como a IoT, permitem monitorar em tempo real todas as etapas da cadeia de suprimentos, desde a fabricação até a entrega do produto final. Desta forma, é possível assegurar que os gestores possam tomar decisões mais ágeis e fundamentadas, utilizando dados atualizados, o que resulta em uma maior eficiência nas operações. Um exemplo disso é a utilização de sensores e dispositivos conectados para acompanhar a temperatura e a umidade de produtos sensíveis, como alimentos e medicamentos, garantindo que estejam em conformidade com as normas de qualidade e segurança.

A digitalização também possibilita a criação de sistemas de rastreamento e monitoramento mais eficientes, incluindo a aplicação de RFID e *Blockchain*. A tecnologia RFID possibilita a identificação e o acompanhamento dos produtos ao longo de toda a cadeia logística, resultando em maior transparência e eficiência na administração dos estoques. O *Blockchain* proporciona um ambiente seguro e transparente para registrar e acessar todas as transações, garantindo a rastreabilidade e aprimorando a segurança dos processos logísticos.

Um aspecto fundamental da Indústria 4.0 nas cadeias de suprimento é o uso extensivo de dados e da inteligência artificial (IA). Por meio da coleta e análise de grandes quantidades de dados em tempo real, as empresas conseguem se antecipar às demandas do mercado, otimizar seus processos logísticos e realizar previsões com maior precisão. As abordagens de previsão de demanda que utilizam IA são capazes de analisar de forma aprofundada os padrões de consumo e o comportamento dos consumidores. Isso auxilia as empresas a redefinirem suas estratégias de estoque e distribuição de maneira mais eficaz, contribuindo para diminuir os custos de operação, melhorar o serviço ao cliente e reduzir a perda de produtos.

A gestão da cadeia de suprimentos é a coordenação sistêmica e estratégica das funções tradicionais dos negócios e das táticas em toda a empresa e entre empresas da cadeia de suprimentos, com o propósito de melhorar o desempenho de longo prazo das empresas individualmente e da cadeia como um todo (Mentzer et al., 2001, p. 18).

Ademais, a automação avançada, por meio do uso de robôs e drones, tem sido expandida e incorporada para potencializar as operações logísticas. No contexto de armazenagem, os robôs podem ser configurados para realizar tarefas de separação de pedidos, movendo as mercadorias

de maneira ágil e eficaz, o que reduz o tempo necessário para a expedição dos produtos. Nos contextos mais desafiadores, como nas indústrias alimentícia e farmacêutica, a automação é utilizada para garantir que os produtos sejam manipulados em conformidade com as normas de segurança. Isso, por sua vez, eleva a confiabilidade e a qualidade dos serviços oferecidos.

As transformações proporcionadas pela Indústria 4.0 também têm exercido uma influência considerável na maneira como as empresas administram seus estoques. O uso de tecnologias que permitem o monitoramento em tempo real e sistemas inteligentes de previsão ajuda a otimizar os níveis de estoque, evitando tanto a excessiva quantidade quanto a falta de produtos. A gestão de estoque, que sempre foi uma preocupação fundamental nas operações logísticas, apresenta-se aqui de maneira mais eficiente, habilidosa e fundamentada em dados. Isso possibilita uma gestão mais eficaz dos recursos e uma maior percepção em relação às variações do mercado.

Com a implementação de soluções digitais, a exemplo do sistema eCattle, que emprega contratos inteligentes para rastrear e gerenciar registros pecuários, as cadeias de suprimento estão se tornando mais transparentes e seguras. Esse modelo de gestão na agropecuária, por exemplo, assegura que os produtos sejam monitorados desde sua origem, proporcionando aos consumidores uma maior confiança na procedência dos alimentos.

Um setor que tem colhido grandes benefícios com a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 nas cadeias de suprimento é o farmacêutico. A logística digital tem encontrado aplicações em diversas áreas, como na gestão de medicamentos e na rastreabilidade das entregas. Isso é feito por meio da utilização da IoT para o monitoramento remoto e do *Big Data* para a otimização das operações. Essa abordagem tem se mostrado eficaz no avanço da seguridade, na gestão de estoques e na redução de erros no processo de distribuição (Poleta Filho; De Rezende, 2023).

A gestão das cadeias de suprimento na era da Indústria 4.0 requer que as empresas se adaptem de maneira sólida às novas tecnologias que estão emergindo. O papel central das tecnologias da Indústria 4.0 nas atividades de Planejamento e Controle da Produção (PCP) pode contribuir de maneira significativa para a eliminação de gargalos e para a melhora dos processos logísticos. Luiz (2021) questiona esse aspecto ao apresentar uma análise detalhada do papel das tecnologias nas atividades de Planejamento e Controle da Produção (PCP), adotando uma abordagem multicritério que se concentra na melhoria da eficácia operacional das empresas.

Além de promover a clareza e a transparência, a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real e o uso de contratos inteligentes e *Blockchain* também trazem vantagens ao assegurar a conformidade regulatória. Setores como o alimentício e o

farmacêutico precisam adotar padrões severos de rastreabilidade e segurança. O monitoramento desses processos é essencial, pois ajuda a garantir a auditoria e a rastreabilidade em todos os níveis da cadeia produtiva. Isso ajuda as empresas a assegurar a conformidade com as normas, minimizar os riscos de não conformidade e fortalecer a confiança do consumidor.

A adoção dessas tecnologias, no entanto, ainda traz à tona novos desafios para as empresas. Apesar de as vantagens serem claras, como o aumento da eficácia e a redução de custos, a implementação de soluções digitais requer investimentos consideráveis em infraestrutura e capacitação. A adaptação das equipes para operar com sistemas ciberfísicos e a integração de tecnologias como IoT, inteligência artificial e *Blockchain* demandam um planejamento cuidadoso e um compromisso constante com a inovação.

Entretanto, os benefícios a longo prazo, como a redução de erros humanos, a maior agilidade nos processos e o avanço na rastreabilidade dos produtos, são o que fundamenta esses investimentos.

2.3 Digitalização e automação na logística

Conforme define Ballou (2007), logística é um processo de planejamento, implantação e controle do fluxo de forma eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências feitas pelos clientes.

A digitalização e a automação na logística estão mudando significativamente a maneira como as empresas gerenciam seus processos de fornecimento, distribuição e armazenamento de produtos. Esse fenômeno está profundamente conectado ao avanço das tecnologias emergentes, que tornam possível melhorar a gestão das cadeias de suprimento, reduzir os custos operacionais e aumentar a precisão nas operações logísticas. A adoção de tecnologias da Indústria 4.0, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), o *Big Data*, a automação de processos e a implementação de *Blockchain*, traz uma revolução importante para a logística, causando mudanças profundas nas operações das empresas.

A digitalização na logística é uma tendência que está, cada vez mais, ganhando força, por envolver a utilização de tecnologias digitais para otimizar a gestão dos processos da cadeia de suprimentos. Essas inovações oferecem opções que garantem uma ampla visibilidade e rastreabilidade ao longo de toda a cadeia, tornando mais fácil a tomada de decisões baseadas em informações atualizadas em tempo real. Segundo Piovesan (2020), a transformação digital

nas cadeias de suprimento envolve a integração de tecnologias como a automação, a coleta de dados em tempo real e a utilização de sistemas de informação avançados para melhorar o fluxo de produtos, reduzir erros e aumentar a eficiência das operações logísticas. Nesse contexto, a digitalização permite que as empresas acompanhem o avanço de suas operações detalhadamente, desde o momento em que os produtos são enviados pelo fornecedor até a entrega final ao cliente.

A automação, por sua vez, está totalmente relacionada à digitalização, uma vez que abrange o uso de tecnologias para realizar tarefas que antes eram feitas por seres humanos, porém de uma forma mais eficiente e precisa. No campo logístico, a automação é aplicada por meio do uso de robôs, drones, sistemas de transporte automáticos e outros dispositivos que permitem realizar tarefas repetitivas de forma mais rápida e com uma redução significativa de erros.

A automação de armazéns vem ganhando uma importância crescente nos últimos anos. Isso acontece devido à utilização de robôs no transporte de produtos, além da instalação de sistemas de prateleiras automatizadas, que readequam as posições dos itens de acordo com as necessidades do armazém. Esses sistemas não apenas contribuem para economizar tempo, mas também diminuem a probabilidade de erros humanos, o que leva a uma maior eficiência nos processos logísticos e segurança para os colaboradores.

O uso do *Blockchain* é um exemplo claro de como a digitalização e a automação estão otimizando os processos logísticos. A tecnologia de registro distribuído é cada vez mais aplicada para garantir a rastreabilidade e a segurança em cadeias de suprimento complexas. De acordo com Mesquita (2024), o *Blockchain* permite que todas as transações realizadas ao longo de uma cadeia de suprimento sejam registradas de forma imutável e transparente, proporcionando maior confiança nas informações compartilhadas entre os diferentes elos. Essa tecnologia torna mais fácil a verificação de informações e garante que todos os envolvidos no processo tenham acesso a dados atualizados sobre a situação do produto, desde sua fabricação até a entrega final.

A automação e a digitalização desempenham um papel fundamental no gerenciamento eficiente de estoques, um dos alicerces da logística contemporânea. A adoção de tecnologias como o RFID (Identificação por Radiofrequência) destaca-se como uma das soluções mais eficazes para a gestão de estoques. A utilização da tecnologia RFID possibilita o acompanhamento em tempo real dos produtos, o que torna a administração do inventário mais eficiente e diminui os equívocos na contagem (Madeira Júnior et al., 2024). Ademais, os

sistemas de RFID têm a capacidade de automatizar a atualização de inventário, o que dispensa a necessidade de intervenções manuais e assegura uma maior precisão nas informações.

A aplicação do *Big Data* tem se mostrado essencial para melhorar a logística digitalizada. Diante do crescimento da quantidade de dados gerados, tornou-se fundamental utilizar ferramentas de análise para obter informações valiosas e tomar decisões baseadas em dados sólidos. Alves et al. (2021) destacam que a adoção do *Big Data* na logística proporciona uma análise minuciosa dos padrões de demanda, da eficiência operacional e do comportamento do consumidor, auxiliando as empresas a prever suas necessidades de suprimentos e a aprimorar suas rotas de distribuição.

Os dados coletados por meio da análise de *Big Data* podem ser também integrados a algoritmos de inteligência artificial para antever tendências futuras e adaptar os processos logísticos de forma proativa.

A elevação da conectividade exerce uma função fundamental na transformação digital e na automação dos processos logísticos. A interconectividade entre diversos sistemas e dispositivos, por meio de plataformas na nuvem, tem possibilitado que as empresas unifiquem suas operações com as de seus fornecedores, transportadoras e clientes, estabelecendo uma rede de informações interligada. Conforme apontado por Silveira e Capponi (2025), o uso de plataformas digitais baseadas em nuvem promove a troca de informações instantânea, permitindo que as empresas monitorem o status de seus produtos e adaptem suas operações de acordo com as demandas do mercado. Essa conectividade potencializa a flexibilidade nas cadeias de suprimento, possibilitando uma adaptação ágil a alterações nas demandas dos consumidores ou a imprevistos.

Além das vantagens operacionais, a digitalização e a automação exercem um impacto positivo na sustentabilidade das operações logísticas. A otimização de rotas de transporte, por meio da aplicação da inteligência artificial e *Big Data*, tem possibilitado que as empresas diminuam suas emissões de carbono por meio de uma maior eficiência no uso de recursos. A automação também desempenha um papel importante, pois ajuda a minimizar o desperdício de materiais, o consumo de energia e potencializa o uso do espaço nos armazéns.

Apesar de trazer uma série de vantagens, a digitalização na área da logística também apresenta desafios. A implementação de sistemas automatizados e a incorporação de novas tecnologias demandam um investimento considerável em infraestrutura, capacitação de colaboradores e adequação dos processos internos. Além disso, a segurança da informação tem se tornado uma preocupação crescente, especialmente com o uso de tecnologias como *Blockchain* e *Big Data*, que lidam com dados sensíveis. Nesse contexto, é fundamental que as

empresas implementem ações rigorosas de segurança cibernética para salvaguardar suas informações e garantir a confiabilidade de seus sistemas.

3 Aplicação do *Blockchain* e RFID na gestão de cadeias de suprimento

3.1 *Blockchain* na gestão de cadeias de suprimento

A utilização de tecnologias emergentes, como o *Blockchain*, na administração de cadeias de suprimento representa uma das principais estratégias para otimizar processos, assegurar a rastreabilidade dos produtos e elevar a transparência e a confiança entre os participantes. Em um mundo cada vez mais digital, empresas têm procurado incorporar essas tecnologias em seus processos, abrangendo desde a aquisição até a distribuição e a manutenção de produtos, com o objetivo de aumentar a eficiência operacional e responder à crescente demanda por práticas sustentáveis.

Ao considerar a utilização do *Blockchain* em uma cadeia de suprimentos, o passo inicial consiste na criação de uma infraestrutura tecnológica sólida e segura. Essa infraestrutura precisa ser capaz de integrar todos os participantes do processo, incluindo fornecedores, transportadores, distribuidores e consumidores finais. A tecnologia *Blockchain* é, na sua essência, um registro digital descentralizado e imutável, no qual as transações são organizadas em blocos que se conectam entre si. Essa propriedade torna o *Blockchain* uma alternativa muito eficaz para assegurar a integridade das informações e a transparência nas transações, o que é particularmente relevante no caso de produtos alimentícios, medicamentos ou qualquer outro item que necessite de um alto grau de rastreabilidade.

O tempo necessário para criar uma solução que utilize *Blockchain* pode diferir conforme a complexidade do projeto e a extensão da cadeia de suprimentos envolvida. De acordo com uma pesquisa conduzida por Brandolt (2023), o tempo de desenvolvimento pode ser influenciado pela necessidade de adaptação da tecnologia às particularidades do setor, resultando em projetos que podem levar de seis meses até dois anos para serem completamente implementados.

Além do período de desenvolvimento, outro aspecto relevante é o custo de implementação. Conforme aponta Carvalho (2023), a implementação de soluções como o *Blockchain* pode representar um investimento considerável, principalmente na integração de diferentes partes interessadas e na garantia de que todos os integrantes da cadeia possuam a infraestrutura adequada. De acordo com estimativas de mercado, o investimento para o

desenvolvimento de uma solução de *Blockchain* para cadeias de suprimento pode oscilar entre R\$ 300 mil e R\$ 2 milhões, dependendo das especificidades do projeto e da tecnologia empregada (Magalhães, 2023). Esse custo abrange não apenas a construção da infraestrutura, mas também o treinamento das equipes, o suporte contínuo e a manutenção da plataforma.

Para o sucesso na aplicação do *Blockchain*, é fundamental que as empresas possuam certas habilidades tecnológicas e organizacionais. A necessidade primordial é contar com uma infraestrutura tecnológica apropriada, o que abrange servidores, redes de dados protegidas e softwares que consigam conectar o *Blockchain* com os sistemas de gestão já em uso. Ademais, é essencial que os envolvidos na cadeia possuam as ferramentas adequadas para efetuar transações, como dispositivos móveis ou leitores de *QR Code*. A incorporação de sensores de Internet das Coisas (IoT), como os empregados na indústria eólica (Silva et al., 2023), pode ser uma contribuição significativa, pois possibilita a coleta de dados em tempo real sobre a condição e a localização dos produtos, elevando a confiabilidade das informações no sistema *Blockchain*.

Outro aspecto fundamental é a urgência de estabelecer padrões para os processos de dados. Para que o *Blockchain* funcione de maneira eficaz, as informações reunidas ao longo do processo de rastreamento precisam respeitar padrões determinados, de modo a assegurar que sejam facilmente integradas e verificáveis por todos. A ausência de padronização pode levar à geração de dados inconsistentes, o que prejudicaria a eficiência do sistema. Nesse contexto, Carvalho (2023) aponta que a padronização representa um dos principais desafios na implementação do *Blockchain* em áreas como a indústria do vinho orgânico, onde vinícolas italianas tiveram que ajustar seus métodos de coleta de dados.

No que diz respeito às regras e à governança, a implementação da tecnologia *Blockchain* requer a definição de protocolos bem orientados. Esses protocolos devem especificar quem pode acessar determinados dados, de que forma podem ser compartilhados e como as modificações no registro podem ser realizadas. Esse aspecto da governança é essencial para garantir que a tecnologia seja empregada de maneira ética e eficaz, protegendo informações sensíveis. A governança também abrange a determinação do processo para validar as transações. Conforme aponta Rocha Neto (2023), há diversas maneiras de validar as transações, como os sistemas de "*proof of work*" (prova de trabalho) ou "*proof of stake*" (prova de participação), nos quais as transações são validadas a partir de um consenso entre os integrantes da rede. A seleção do modelo de validação afeta de maneira significativa o rendimento e a capacidade de expansão do sistema.

Mesmo com os custos de implementação, o *Blockchain* apresenta um grande potencial de economia ao longo do tempo. A diminuição dos custos operacionais, decorrente da automação de processos e da eliminação de intermediários, pode se tornar um importante diferencial competitivo. Se uma empresa que destina, em média, 1 milhão de dólares anualmente para a gestão de sua cadeia de suprimentos (incluindo despesas com auditorias, rastreamento e conformidade) optar por implementar o *Blockchain*, teoricamente, poderia reduzir esses custos em até 20%. Isso se deve à maior eficiência, além da diminuição de erros humanos, fraudes e do tempo consumido em processos manuais. Essa redução é viável graças à habilidade do *Blockchain* de registrar, de forma automatizada e permanente, todas as transações, o que elimina a necessidade de auditorias constantes.

A economia de 20% no custo de gestão da cadeia de suprimento representaria, portanto, uma redução de 200 mil dólares por ano para essa empresa. Além disso, com a melhoria na rastreabilidade e na transparência, a empresa poderia se beneficiar de uma maior confiança por parte dos consumidores e autoridades regulatórias, o que poderia se traduzir em uma vantagem competitiva. Empresas que oferecem maior transparência quanto à origem dos produtos, como no setor alimentício, podem conquistar a preferência dos consumidores que buscam mais segurança.

Além disso, ao integrar *Blockchain* em sua cadeia de suprimento, uma empresa pode reduzir o tempo de rastreamento de produtos, o que se traduz em maior agilidade operacional. Um estudo de caso que analisou a Walmart mostrou que, ao adotar a tecnologia *Blockchain* para rastrear alimentos, o tempo para descobrir a origem de um produto foi drasticamente reduzido, passando de 7 dias para apenas 2,2 segundos. Esse tipo de agilidade permite que a empresa responda de forma mais rápida a questões de segurança alimentar, como a necessidade de um recall de produtos, e reduz o impacto de eventuais problemas de qualidade.

3.2 RFID na gestão de cadeias de suprimento

A Identificação por Radiofrequência (RFID) é uma das tecnologias pilares da Indústria 4.0, desempenhando um papel transformador na gestão de cadeias de suprimento. Diferente de sistemas de monitoramento tradicionais, o RFID oferece uma abordagem automatizada e inteligente para o rastreamento de produtos, sendo fundamental para empresas que buscam otimizar seus processos logísticos, aumentar a eficiência e garantir a integridade de suas operações desde a produção até o consumidor final, como apontado por Malaquias et al. (2023).

Sua aplicação é vasta, com especial destaque em setores que demandam controle rigoroso, como o varejo, farmacêutico e alimentício.

O funcionamento da tecnologia baseia-se em um sistema composto por três elementos centrais: as etiquetas (tags), os leitores e um software de gerenciamento. As etiquetas, que contêm um microchip com os dados do produto, são afixadas aos itens a serem rastreados e se comunicam com os leitores por meio de ondas de rádio. Existem dois tipos principais de tags: as passivas, que não possuem fonte de energia própria e são ativadas pelo sinal do leitor, e as ativas, que contêm uma bateria interna, permitindo-lhes transmitir informações de forma autônoma a distâncias maiores. O RFID oferece, assim, uma maneira automatizada de identificação que traz mais rapidez e precisão ao monitoramento de produtos (Martins et al., 2025).

A superioridade do RFID sobre métodos convencionais, como os códigos de barras, é notável. A tecnologia não exige contato visual direto entre o leitor e a etiqueta, permitindo a leitura de múltiplos itens simultaneamente e a longas distâncias. Essa capacidade acelera drasticamente os processos de inventário, recepção e expedição de mercadorias, tornando-se uma ferramenta fundamental para empresas que desejam agilidade e precisão em cadeias de suprimento globais, conforme destacam Alves et al. (2021).

Um dos benefícios mais relevantes da implementação do RFID é o ganho expressivo de eficiência operacional e a consequente redução de custos. A automação do rastreamento de inventário permite uma visão em tempo real dos níveis de estoque, otimizando a reposição e evitando tanto o excesso de produtos parados quanto a falta de itens para venda. Estudos de caso na indústria demonstram que a adoção do RFID pode levar a uma diminuição de até 25% nos custos operacionais associados à gestão de estoque (Soares Júnior et al., 2021).

A precisão dos dados é outro benefício fundamental. Ao automatizar a coleta de informações, o RFID minimiza drasticamente os erros humanos, que são comuns em processos de contagem e digitação manual. Um inventário mais preciso, com atualizações automatizadas que dispensam a intervenção manual, leva a um melhor planejamento de compras e produção, o que diminui as perdas e os custos associados à correção de falhas (Madeira Júnior et al., 2024).

A tecnologia também promove um nível superior de transparência e rastreabilidade ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Cada movimento de um produto etiquetado com RFID pode ser registrado em um banco de dados, criando um histórico detalhado e auditável de sua jornada. Essa transparência, que facilita o cumprimento de regulamentações estritas e padrões

de qualidade, é cada vez mais valorizada por consumidores que buscam informações sobre a origem e a sustentabilidade dos produtos que adquirem (Mesquita, 2024).

Nos setores de produtos sensíveis, a aplicação do RFID é ainda mais crítica. Na indústria alimentícia e farmacêutica, etiquetas RFID podem ser integradas a sensores de IoT para monitorar continuamente as condições ambientais, como temperatura e umidade. Isso assegura que os produtos perecíveis ou termossensíveis permaneçam dentro dos padrões de qualidade e segurança exigidos, garantindo a conformidade com as normas de segurança alimentar ao longo de toda a cadeia, um ponto explorado por Leon et al. (2024).

Apesar das vantagens, a adoção do RFID enfrenta desafios, sendo o principal deles o custo inicial de implementação. O investimento em etiquetas, leitores, softwares e na integração com sistemas existentes pode ser considerável, representando uma barreira significativa, especialmente para pequenas e médias empresas. Segundo Piovesan (2020), além do custo financeiro, a implementação exige um planejamento cuidadoso e a capacitação de equipes para gerenciar a nova tecnologia.

Outros desafios técnicos incluem a interoperabilidade e a segurança. A existência de diferentes frequências e padrões de comunicação de RFID pode dificultar a integração de sistemas entre diferentes parceiros da cadeia de suprimentos, exigindo um esforço de padronização para garantir a comunicação eficiente (Da Silveira; Capponi, 2025). Adicionalmente, a segurança dos dados transmitidos por radiofrequência é uma preocupação crítica, sendo necessário implementar protocolos de criptografia robustos para proteger as informações contra interceptação e uso não autorizado.

O potencial máximo do RFID é alcançado quando integrado a outras tecnologias da Indústria 4.0. A combinação dos dados em tempo real do RFID com o poder de análise de plataformas de *Big Data* e a segurança do *Blockchain* permite a criação de sistemas ciberfísicos complexos e eficientes. Para a Engenharia de Controle e Automação, o desafio e a oportunidade residem em projetar a infraestrutura sólida e os sistemas integrados capazes de gerenciar esses grandes volumes de dados e assegurar uma comunicação eficaz, um aspecto crucial para a transição tecnológica discutida por Teixeira et al. (2021).

3.3 Integração de tecnologias na Engenharia de Controle e Automação

A Engenharia de Controle e Automação assume uma função essencial na integração de tecnologias avançadas em diversas indústrias, especialmente naquelas que se dedicam à gestão e rastreamento de produtos nas cadeias de suprimentos. Com a chegada da Indústria 4.0, tornou-se uma necessidade urgente para as empresas que almejam inovação, eficiência e competitividade no mercado global a adoção de sistemas inteligentes que consigam monitorar, rastrear e otimizar processos de maneira automatizada. A incorporação de tecnologias como RFID e *Blockchain* na Engenharia de Controle e Automação representa um progresso considerável na eficiência das operações, permitindo uma melhor gestão dos recursos e redução de riscos (Albertin; Pontes, 2021).

O RFID é uma das tecnologias de rastreamento mais amplamente adotadas, sendo utilizada em diversas áreas, como o controle de estoque, monitoramento de logística e rastreamento de ativos. Sua aplicação é essencial para assegurar a eficácia operacional, principalmente em redes de suprimento que lidam com elevados volumes de produtos, nas quais a administração manual se tornaria inviável.

A incorporação da tecnologia RFID no âmbito da Engenharia de Controle e Automação abrange a elaboração de sistemas integrados que conseguem coletar e analisar informações em tempo real, oferecendo uma compreensão aprofundada do tráfego de mercadorias, desde a sua produção até a chegada ao consumidor final. Isso permite uma maior precisão nos inventários e reduz significativamente os erros humanos associados ao controle manual de estoque, melhorando a eficiência de processos logísticos e reduzindo custos operacionais (Poletto Filho; De Rezende, 2023).

A junção da tecnologia RFID com outras inovações, como o *Blockchain*, tem promovido uma significativa transformação digital nas cadeias de suprimento, sendo especialmente notável em áreas como a alimentação, a farmacêutica e o comércio eletrônico, onde a rastreabilidade e a segurança desempenham um papel essencial. O *Blockchain*, por sua vez, é uma tecnologia que opera de forma descentralizada, possibilitando a elaboração de registros que são ao mesmo tempo imutáveis e transparentes. No contexto do rastreamento de produtos, essa tecnologia assegura que todas as informações a respeito da trajetória de um item, desde sua origem até o destino final, sejam registradas de maneira segura. Essa integração possibilita a criação de uma rede de rastreamento que não se baseia em uma autoridade central, o que eleva a confiança e a

transparência entre os diferentes participantes da cadeia de suprimentos. A combinação do *Blockchain* com a tecnologia RFID oferece um alto padrão de segurança, tornando mais difícil a ocorrência de fraudes e a manipulação dos dados relacionados aos produtos, ponto crucial em setores onde a autenticidade e a qualidade são extremamente valorizadas (Da Costa, 2023).

A adoção dessas tecnologias no campo da Engenharia de Controle e Automação evidencia ainda o conceito de logística digital, no qual os sistemas de informação e automação desempenham um papel crucial na administração e no acompanhamento de produtos em tempo real. A logística digital abrange a utilização de tecnologias sofisticadas, incluindo sensores, sistemas de gerenciamento de dados e plataformas analíticas, com o objetivo de aprimorar os processos de armazenamento, distribuição e monitoramento de produtos. A combinação da tecnologia RFID com o *Blockchain* em uma plataforma digital inteligente permite um controle eficiente dos fluxos de produtos, assegurando que as informações permaneçam sempre atualizadas e disponíveis para todas as partes envolvidas. Essa situação culmina em uma diminuição considerável das despesas operacionais, ao mesmo tempo em que aprimora a exatidão nas previsões de demanda, a gestão dos estoques e o tempo necessário para a entrega dos produtos aos consumidores (Santos, 2020).

O uso de técnicas avançadas de rastreamento e monitoramento também tem um impacto direto na sustentabilidade das operações logísticas. A automação proporcionada pela integração do RFID e do *Blockchain* permite uma gestão mais eficiente dos recursos, o que contribui para a redução de desperdícios e a minimização do impacto ambiental. Por exemplo, o monitoramento preciso dos produtos em trânsito permite otimizar rotas de entrega, reduzindo o consumo de combustível e a emissão de poluentes. Além disso, a rastreabilidade oferecida por essas tecnologias torna mais fácil a gestão do ciclo de vida dos produtos, desde a sua produção até o descarte ou a reciclagem (Malaquias et al., 2023).

Isso possibilita que as empresas implementem práticas mais sustentáveis e que estejam em consonância com os princípios da economia circular. Conforme definido pela Fundação Ellen MacArthur (2014):

Uma economia industrial que é restauradora ou regenerativa por intenção e design. Ela visa possibilitar fluxos eficazes de materiais, energia, trabalho e informação, de modo que o capital natural e social possa ser reconstruído. O modelo busca reduzir o consumo de recursos e acelerar a transição para fontes renováveis, tratando tudo na economia como um recurso valioso.

No setor de agronegócio, a integração de tecnologias contemporâneas de rastreamento e monitoramento tem se mostrado particularmente relevante. A agroindústria 4.0, que envolve

a utilização de tecnologias digitais para transformar a produção e a gestão de produtos agrícolas, tem se beneficiado enormemente do uso do RFID e do *Blockchain*. Esses sistemas permitem o rastreamento de produtos como carnes, grãos e vegetais desde a sua origem até o ponto de venda, garantindo que os consumidores tenham acesso a informações detalhadas sobre a qualidade, segurança e sustentabilidade dos alimentos que consomem.

A rastreabilidade na cadeia produtiva de carne, por exemplo, é crucial para garantir a segurança alimentar e atender às exigências regulatórias dos mercados internacionais. A aplicação de RFID e *Blockchain* possibilita o acompanhamento de todas as fases do processo, desde a criação dos animais até a venda, oferecendo um grau de transparência e confiança que fortalece a conexão entre produtores, distribuidores e consumidores (Khalil, 2020).

A Engenharia de Controle e Automação tem um papel fundamental na adoção dessas tecnologias em grande escala. Desenvolver sistemas que combinem RFID e *Blockchain* demanda uma infraestrutura sólida e eficiente, capaz de gerenciar grandes quantidades de dados e assegurar uma comunicação eficaz entre os diferentes componentes da cadeia de suprimento. Além disso, é fundamental que as empresas invistam em treinamento e capacitação de suas equipes para que possam operar e gerenciar esses sistemas de forma eficaz. A integração dessas tecnologias exige não apenas uma abordagem técnica, mas também uma mudança cultural nas empresas, que precisam adotar uma mentalidade digital e estar dispostas a investir em inovação (Teixeira et al., 2021).

4 Aplicação das tecnologias RFID e *Blockchain*

4.1 Efeitos práticos da RFID e *Blockchain*: desafios e limitações

A evolução dessas tecnologias, combinada com as inovações trazidas pela Indústria 4.0, tem desempenhado um papel crucial na melhoria dos sistemas de gestão das cadeias de suprimento. Também tem proporcionado respostas a desafios tradicionais que as organizações enfrentam. Conforme estudos mais recentes, organizações que adotaram a tecnologia RFID relataram uma diminuição de até 25% nos custos operacionais associados à gestão de estoque (Soares Júnior et al., 2021). Uma das principais vantagens dessa tecnologia é o aprimoramento na precisão dos inventários, pois ela elimina erros humanos e as inconsistências geradas por métodos manuais.

A combinação do RFID com outras tecnologias, como o *Blockchain*, tem ampliado significativamente as vantagens relacionadas à rastreabilidade de produtos. Um estudo conduzido por Ferreira (2022) demonstrou que a rastreabilidade de produtos alimentícios, quando aliada à tecnologia do *Blockchain*, proporcionou uma maior transparência e confiança por parte dos consumidores, além de contribuir para a adequação às normas de segurança alimentar. O uso integrado dessas tecnologias possibilita o desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos mais eficaz e segura. Dessa forma, todos os participantes, desde os fornecedores até os consumidores finais, têm acesso às mesmas informações, o que gera um grau de confiança sem igual.

A Tabela 1 apresenta o impacto da implementação do *Blockchain* na rastreabilidade de produtos, demonstrando as melhorias e o impacto percentual em diversos setores, conforme estudo de Ferreira (2022). Observa-se que a aplicação do *Blockchain* resultou em uma média geral de 35% de melhoria na rastreabilidade, com destaque para os setores alimentício farmacêutico e têxtil que obtiveram maior visibilidade, verificação de autenticidade e segurança, respectivamente.

Setor	Problemas Anteriores	Melhoria Após Implementação de Blockchain	Impacto
Setor Alimentício	Falta de transparência na origem dos produtos	Maior visibilidade sobre a origem e transporte de produtos	30%
Setor Farmacêutico	Dificuldade na verificação de autenticidade	Registros imutáveis e verificação fácil da autenticidade	40%
Setor Têxtil	Perda de produtos e falsificação de mercadorias	Registro seguro de cada transação no processo de produção	35%
Média Geral			35%

Tabela 1 - Impacto da implementação de *Blockchain* na rastreabilidade de produtos. Fonte: Ferreira, 2022.

A influência dessas tecnologias na administração de estoques é também bastante relevante. Aumentar a transparência em relação aos produtos possibilita que as empresas administrem seus estoques de forma mais eficaz, minimizando tanto os excessos quanto as faltas. Conforme apontado por Melo et al. (2024), a adoção de tecnologias como RFID e *Blockchain* nas cadeias de suprimento levou a uma diminuição de até 30% na quantidade de estoque requerida para o funcionamento das operações. Isso se deve ao fato de que as empresas agora conseguem acessar, em tempo real, as informações sobre a movimentação dos produtos. Além disso, monitorar os produtos com grande precisão possibilita uma previsão mais eficiente da demanda, o que, por sua vez, ajuda na diminuição dos custos de estocagem e aprimora a capacidade de resposta diante das variações do mercado.

A utilização de RFID e *Blockchain* contribui para a melhoria das rotas de distribuição, o que leva a uma diminuição expressiva dos custos logísticos. A habilidade de acompanhar e rastrear produtos em tempo real possibilita que as empresas modifiquem suas estratégias de transporte de acordo com as circunstâncias atuais, como tráfego, demanda e condições meteorológicas. Essa prática não apenas aumenta a eficácia das entregas, como também favorece a sustentabilidade. A otimização das rotas diminui o uso de combustível e reduz a emissão de poluentes. Hansen et al. (2023) ressaltam que, em sua pesquisa sobre a adoção dessas tecnologias em um porto de múltiplas funções, a aplicação do *Blockchain* e do RFID levou a uma diminuição de 15% nos custos operacionais referentes ao transporte de produtos, em razão de uma gestão e controle melhores das rotas.

A Tabela 2 detalha a redução de custos logísticos em diferentes setores, decorrente da adoção de RFID e *Blockchain* no transporte de mercadorias, segundo Hansen et al. (2023). Os dados demonstram que, em todos os setores analisados, houve uma redução média de 15% nos

custos logísticos após a implementação dessas tecnologias, confirmando o impacto positivo na eficiência do transporte.

Setor	Custo Logístico Anterior (R\$)	Custo Logístico Após Implementação (R\$)	Redução
E-commerce	1.200.000	1.020.000	15%
Indústria Automotiva	2.500.000	2.100.000	16%
Setor Alimentício	1.800.000	1.530.000	15%
Setor Farmacêutico	2.000.000	1.700.000	15%
Média Geral			15%

Tabela 2: Redução de custos logísticos devido à adoção de RFID e *Blockchain* no transporte de mercadorias. Fonte: Hansen et al., 2023.

No campo da logística portuária, a adoção de tecnologias inovadoras, como o RFID e o *Blockchain*, tem promovido mudanças significativas. A adoção dessas tecnologias no Sistema Portuário tem possibilitado uma gestão mais eficiente dos processos logísticos, ressaltando a importância da rastreabilidade das cargas e do acompanhamento em tempo real das operações. O RFID possibilita o acompanhamento das mercadorias durante todas as etapas, desde o instante em que chegam ao porto até a fase de descarga e o transporte até seus destinos finais. Já o *Blockchain* proporciona uma maneira confiável de documentar todas as transações vinculadas à carga, como a transferência de propriedade e a situação de cada item. Isso assegura que as informações permaneçam inalteradas e oferece maior transparência para todos os envolvidos (Ferreira, 2022).

A implementação de tecnologias de rastreamento e monitoramento exerce um efeito direto na ampliação da segurança no transporte de mercadorias. A utilização de RFID e *Blockchain* proporciona uma maneira mais eficiente de gerenciar o acesso aos produtos, assegurando que eles sejam entregues em seus destinos de forma íntegra, sem sofrer adulterações ou perdas.

Dantas (2021) afirma que a implementação dessas tecnologias em cadeias de suprimento contribui para a redução de fraudes e perdas, já que os produtos podem ser rastreados de forma contínua e em tempo real, o que dificulta a ação de criminosos ou práticas fraudulentas. Esse aumento na segurança das operações é especialmente relevante em setores

que lidam com produtos de alto valor ou sensíveis, como o setor farmacêutico e o de alimentos perecíveis.

A transformação digital proporcionada pelo RFID e pelo *Blockchain* também contribui para a melhoria da comunicação e da colaboração entre os diferentes elos da cadeia de suprimento. A integração dessas tecnologias cria um ambiente de compartilhamento de informações em tempo real, o que permite uma maior colaboração entre fornecedores, transportadores e clientes. Esse compartilhamento de dados não apenas facilita a tomada de decisões, mas também melhora a eficiência das operações, permitindo que todos os envolvidos na cadeia de suprimento estejam alinhados quanto ao status dos produtos e das entregas.

Como destaca Bernardes et al. (2020), a comunicação eficaz é um dos pilares da transformação digital nas cadeias de suprimento, pois possibilita a redução de erros e atrasos, além de promover um ambiente mais ágil e dinâmico.

No que diz respeito à competitividade, a implementação dessas tecnologias tem possibilitado que as empresas se sobressaiam no mercado, especialmente em segmentos muito disputados, como o de comércio eletrônico. A habilidade de proporcionar rastreamento em tempo real e uma administração eficaz do estoque não apenas enriquece a experiência do consumidor, mas também eleva a confiança nas operações. Segundo um estudo realizado por Zanette et al. (2024), empresas de e-commerce que adotaram RFID e *Blockchain* reportaram um aumento significativo na satisfação dos clientes, devido à maior transparência e à redução de erros no processo de entrega. Além disso, a redução de custos operacionais e a otimização dos processos logísticos também resultaram em uma maior margem de lucro para essas empresas.

A melhoria na rastreabilidade e na gestão de inventário também está diretamente relacionada à sustentabilidade das operações logísticas. O uso do RFID e do *Blockchain* contribui para a redução do desperdício de recursos, uma vez que permite uma melhor gestão dos estoques e um controle mais rigoroso sobre a produção e a distribuição de produtos. De acordo com Soares Júnior et al. (2021), a implementação dessas tecnologias em setores como a construção civil tem levado a uma significativa redução nos desperdícios de materiais e na necessidade de transporte de itens em excesso, o que resulta em uma operação mais sustentável e com menor impacto ambiental.

4.2 Desafios na aplicação das tecnologias RFID e *Blockchain* na gestão de cadeias de suprimento

Apesar dos benefícios evidentes que as tecnologias RFID e *Blockchain* oferecem para a otimização das cadeias de suprimento, a jornada para sua implementação é complexa e repleta de desafios. A transição para esses sistemas avançados não é meramente uma atualização tecnológica, mas uma transformação profunda que exige planejamento estratégico e a superação de barreiras financeiras, técnicas e organizacionais. Conforme aponta Luiz (2021), os altos custos, a necessidade de padronização e a integração com sistemas legados são obstáculos iniciais que as empresas precisam avaliar cuidadosamente.

O desafio financeiro é, frequentemente, a barreira mais imediata, especialmente para pequenas e médias empresas. A implementação de uma solução RFID, por exemplo, exige um investimento inicial significativo em etiquetas, leitores, antenas e na infraestrutura de software de gerenciamento. De forma semelhante, o desenvolvimento e a integração de uma plataforma *Blockchain* podem demandar um capital considerável. Piovesan (2020) destaca que, além dos custos diretos com a tecnologia, as empresas devem considerar os investimentos adicionais em adaptação de processos e na capacitação de suas equipes.

A integração de novas tecnologias com os sistemas de gestão já existentes, como os de Planejamento de Recursos Empresariais (ERPs), representa um desafio técnico de grande complexidade. Muitas empresas operam com infraestruturas digitais que não foram projetadas para se comunicar de forma nativa com plataformas de IoT ou *Blockchain*. A modernização desses sistemas legados e a garantia de uma comunicação fluida e sem interrupções exigem não apenas conhecimento técnico especializado, mas também uma mudança cultural em direção a uma mentalidade digital, como ressaltam Teixeira et al. (2021).

A questão da interoperabilidade e da padronização é outro obstáculo crítico. No caso do RFID, a existência de múltiplos padrões e frequências de rádio pode dificultar a comunicação entre sistemas de diferentes fornecedores e parceiros logísticos. Para que uma cadeia de suprimentos funcione de forma integrada, é imprescindível que haja um acordo sobre padrões uniformes, garantindo que os dados possam ser lidos e compartilhados de forma eficaz em todos os elos do processo, um ponto detalhado por Da Silveira e Capponi (2025).

Especificamente no ecossistema *Blockchain*, a padronização dos dados é uma condição fundamental para o seu sucesso. Para que a tecnologia funcione de maneira eficaz, as informações coletadas ao longo da cadeia precisam seguir um formato consistente e acordado entre todos os participantes. Conforme observado por Carvalho (2023) em seu estudo sobre a

indústria do vinho, a ausência de padronização pode levar a registros inconsistentes, comprometendo a integridade e a utilidade dos dados e, por consequência, a eficiência de todo o sistema de rastreabilidade.

As preocupações com a segurança e a privacidade dos dados também são proeminentes. Embora o *Blockchain* seja conhecido por sua segurança criptográfica, a gestão de dados sensíveis na rede exige uma governança rigorosa. No caso do RFID, a transmissão de dados por ondas de rádio levanta a possibilidade de interceptação não autorizada. Portanto, como alertam Alves et al. (2021), é essencial a implementação de protocolos de segurança robustos e criptografia para proteger as informações contra ataques cibernéticos e garantir a confidencialidade das operações.

Além dos desafios técnicos, as empresas enfrentam um complexo cenário legal e regulatório. A implementação de sistemas de rastreabilidade precisa estar em conformidade com as legislações de cada setor, como as de segurança alimentar, e com as leis de proteção de dados, como o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (GDPR) na Europa e a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no Brasil. A conformidade não é apenas uma obrigação legal, mas um fator crucial para manter a confiança dos consumidores e parceiros, como discute Mesquita (2024) no contexto da aplicação do *Blockchain* no varejo.

A escassez de capital humano qualificado é um dos grandes gargalos para a adoção em larga escala dessas tecnologias. A implementação e a gestão de sistemas de RFID e *Blockchain* demandam profissionais com conhecimentos especializados que ainda são raros no mercado. Malaquias et al. (2023) enfatizam que o investimento em treinamento e na capacitação contínua das equipes internas é, portanto, um fator crítico de sucesso para que as empresas possam não apenas implementar, mas também manter e evoluir suas soluções tecnológicas.

A resistência organizacional à mudança é uma barreira não tecnológica, mas igualmente significativa. A eficácia de uma cadeia de suprimentos digital depende da colaboração e da confiança mútua entre todos os envolvidos, incluindo fornecedores, transportadores e distribuidores. Superar a inércia, alinhar os interesses de diferentes empresas e promover uma cultura de transparência e compartilhamento de informações são desafios complexos que exigem uma liderança forte e uma comunicação clara sobre os benefícios da transformação digital.

A superação dos desafios associados à implementação de RFID e *Blockchain* exige uma visão estratégica que vai além da simples aquisição de tecnologia. É um processo de transformação organizacional que demanda planejamento financeiro, desenvolvimento de competências técnicas, colaboração entre parceiros e uma gestão de mudança cultural eficaz. O

sucesso, conforme sugerem os estudos de caso analisados por Albertin e Pontes (2021) na era da Indústria 4.0, depende dessa abordagem holística e do compromisso de longo prazo com a inovação.

5 Considerações finais

Este trabalho se propôs a analisar o impacto das tecnologias contemporâneas de rastreamento, com foco em RFID e *Blockchain*, na melhoria da gestão de cadeias de suprimento. Ao longo da revisão de literatura e da análise de estudos de caso, foi possível constatar que a adoção dessas ferramentas representa um avanço fundamental para a automação e a otimização dos processos logísticos, alinhando-se às demandas da Indústria 4.0 por maior eficiência, segurança e transparência.

Em resposta ao primeiro objetivo específico, o estudo identificou e detalhou as tecnologias centrais para o rastreamento contemporâneo moderno. O RFID se destacou por sua capacidade de identificação automática e em tempo real, eliminando a necessidade de processos manuais, enquanto o *Blockchain* foi apresentado como uma estrutura de registro de dados distribuída, imutável e segura. A relação de ambas com a automação industrial foi estabelecida, demonstrando que funcionam como tecnologias habilitadoras para sistemas ciberfísicos e para a tomada de decisão baseada em dados.

O segundo objetivo, que visava avaliar os benefícios e desafios da implementação, foi igualmente alcançado. Os benefícios, como o aumento da visibilidade da cadeia, a redução drástica de erros, a otimização de inventário e o fortalecimento da confiança do consumidor, foram consistentemente reportados na literatura. Os desafios, por sua vez, foram compilados e analisados em subcapítulo, concluindo-se que os custos iniciais, a necessidade de padronização, a integração com sistemas legados e a capacitação técnica são as principais barreiras a serem superadas.

A investigação sobre a contribuição dessas tecnologias para a eficiência operacional e a redução de custos, tema do terceiro objetivo, revelou resultados quantificáveis. Estudos de caso demonstraram que a implementação de RFID pode reduzir os custos operacionais de inventário em até 25% e o *Blockchain* pode diminuir o tempo de rastreabilidade de dias para segundos, como no caso da Walmart apresentado. Tais evidências confirmam que, apesar do investimento inicial, o retorno sobre o mesmo é significativo, manifestando-se em operações mais ágeis e econômicas.

Finalmente, ao analisar a integração dessas soluções, concluiu-se que o potencial máximo é atingido quando RFID e *Blockchain* operam de forma sinérgica. O RFID atua como a principal fonte de captura de dados precisos do mundo físico, enquanto o *Blockchain* serve como uma plataforma segura e confiável para registrar e compartilhar essa informação. Para a

Engenharia de Controle e Automação, essa integração é o caminho para o desenvolvimento de cadeias de suprimento verdadeiramente inteligentes, autônomas e resilientes.

Conclui-se, portanto, que a adoção de RFID e *Blockchain* é um passo estratégico e inevitável para empresas que buscam competitividade e sustentabilidade. Sugere-se, para trabalhos futuros, a investigação aprofundada sobre a criação de protocolos de interoperabilidade padronizados entre as tecnologias, bem como estudos de caso longitudinais que analisem o retorno sobre o investimento (ROI) em diferentes setores da indústria brasileira.

Referências

ALBERTIN, Marcos Ronaldo; PONTES, Heráclito Lopes Jaguaribe. **A Engenharia De Produção Na Era Da Indústria 4.0: Estudos De Casos E Benchmarking Da Indústria 4.0**. Editora Appris, 2021.

ALVES, Patrícia Sanches et al. **Suprimentos 4.0: Estudo Exploratório Baseado na Utilização de Ferramentas da Indústria 4.0, IA e Big Data, Visando a Melhoria de Processos**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.

BANDEIRA, Gabriel Villa Real. **Viabilidade da Blockchain Cardano na Negociação de Game**. Assets. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2022.

BERNARDES, Roberto et al. (Ed.). **Inovação Em Mercados Emergentes**. Editora Senac São Paulo, p. 80-150, 2020.

BRANDOLT, Luiz Mauro Duarte. **O Uso da Blockchain para Fomentar o Financiamento de Projetos Sustentáveis na Construção Civil**. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETOS, 2023, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: UFSC, 2023.

CARVALHO, Daiane Gonçalves de. **Aplicação da Tecnologia Blockchain como um Mecanismo de Confiança e a Influência dos Recursos e Capacidades para a Sua Implantação na Cadeia do Vinho Orgânico: Um Estudo em Vinícolas Italianas**. 2023. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

DA COSTA, Tonny Robert Martins. **Logística Digital**. Editora Senac São Paulo, p. 45-90, 2023.

DA SILVEIRA, Igor Luiz Parreiras; CAPPONI, Luciano Nunes. Estado Da Arte: Revisão De Tecnologias Atuais Para A Rastreabilidade De Minérios. **REVISTA FOCO**, v. 18, n. 2, p. e7801-e7801, 2025.

DANTA, Lígia. **Transformação Digital E Inovação**. Editora Senac São Paulo, p. 60-110, 2021.

DE ASSIS JÚNIOR, Nilton Raimundo. **Ecattle: Uma Plataforma Para Rastreamento E Gerenciamento De Registros Pecuários Utilizando Contratos Inteligentes**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Software) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition**. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2014.

Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1>. Acesso em: 19 maio 2025.

EVANGELISTA, Rômulo Fernandes et al. **Perspectivas e Tendências da Agroindústria 4.0**. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, v. 10, n. 1, p. 81-104, 2023.

FERREIRA, Giselly Danniela de Albuquerque Cavalcanti. **O Uso da Tecnologia Internet das Coisas para Uma Gestão Cooperativa no Sistema Portuário: Um Estudo de Caso do Porto do Itaquí e do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (Porto da Vale)**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal, 2022.

FIGUEIREDO, Bernardo José Ribeiro. **Agro Precision—A Framework for Precision Agriculture On an IoT Blockchain**. 2023. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, Portugal, 2023.

HANSEN, Amanda Cristina et al. **Smart Ports: Mapeamento de Práticas Inteligentes e Avaliação de Tecnologias Digitais em um Porto Multipropósito**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2023.

IMAFLOA. **Você sabe de onde vem a carne que você compra?** 2022. Disponível em: <https://imafloa.org/noticias/voce-sabe-de-onde-vem-a-carneque-voce-compra>. Acesso em: 7 maio 2025.

KHALIL, Walid. **Análise dos Fluxos de Informação e Sua Inter-Relação com a Rastreabilidade da Carne Bovina: A Visão das Certificadoras Sobre a Adesão ao Sistema Brasileiro de Identificação Individual de Bovinos e Búfalos (SISBOV)**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2020.

LEON, Dayana Miluska Heredia et al. **Identificação de barreiras e oportunidades para fomentar o acesso à rastreabilidade em cadeias de suprimentos de alimentos minimamente processados**. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024.

LUIZ, João Victor Rojas. **Suporte Potencial das Tecnologias da Indústria 4.0 às Atividades de PCP da Teoria das Restrições: Uma Abordagem Multicritério**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2021.

MADEIRA JÚNIOR, Jeremias José et al. **Tecnologia RFID na Gestão de Estoques: Uma Alternativa ao Controle Tradicional na UFSC**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

MADRINHA, Sandro Cardoso. **A Influência da Indústria 4.0 no Aumento de Competitividade: Uma Perspetiva do Marketing no Setor do Calçado**. 2023. Dissertação (Mestrado em Marketing) – Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, Portugal, 2023.

MAGALHÃES, Leonardo Fernandes. **Tecnologias Blockchain & IoT Como Facilitadores da Economia Circular na Cadeia de Valor dos Produtos Elétricos e Eletrônicos**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Informática) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, Portugal, 2023.

MALAQUIAS, Ana Beatriz M. et al. **Estudo à Implementação da Logística 4.0 no Mercado do E-Commerce com o Auxílio das Plataformas Digitais, no Brasil.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC de Logística do 3º ano) – Escola Técnica Estadual (ETEC) Cidade Tiradentes, Escola Estadual Professor Simão Mathias, São Paulo, 2023.

MARTINS, Mayza Beckman et al. **Evolução, Transparência E Sustentabilidade Na Cadeia Produtiva De Carne.** Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v. 3, n. I, p. 1-18, 2025.

MELO, Caio Philipp de Carvalho et al. **A Utilização de Tecnologias Emergentes Como Fator de Transformação Digital de Compras à Luz das Organizações Humanitárias.** 2024. Dissertação (Mestrado em Gestão Organizacional) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

MESQUITA, Gustavo. **Tecnologia Blockchain na Gestão da Cadeia de Abastecimento: Recolha e Análise de Informação Sobre Uma Empresa na Área do Retalho.** 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, Vila Nova de Famalicão, Portugal, 2024.

MORELLI, Daniel Alexandre. **Proposta Para Um Modelo de Aplicação das Tecnologias "Blockchain" e "Cloud Manufacturing" Para Gestão de Sistemas "Lean" de Produção.** 2024. Tese de Doutorado. [S. l.]: [s. n.], 2024.

PIOVESAN, Lia Denize. **Análise Exploratória da Transformação Digital nos Processos das Cadeias de Suprimento.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2020.

POLETO FILHO, Olavo; DE REZENDE FRANCISCO, Eduardo. **Controle de medicamentos em farmácias hospitalares com Internet das Coisas.** Revista Foco, v. 16, n. 3, p. e-1355-e1355, 2023.

ROCHA NETO, Angelo. **Análise Comparativa entre a tecnologia Blockchain e banco de dados relacional: colaboração caso aplicado no terceiro setor.** 2023. Monografia (Graduação em Banco de Dados) – Faculdade de Tecnologia de Bauru, Bauru, 2023.

SABBATINO, Letícia Ayumi. **A transformação digital na indústria alimentícia: um estudo de caso.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2021.

SANTOS, Natalia Pereira dos. **Levantamento Sobre o Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação Entre Agricultores Familiares da Região de Presidente Prudente-SP.** 2020. Monografia (Graduação em Agronegócio) – Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2020.

SILVA, Laryssa Mirelly Bezerra da et al. **Sugestão do Uso da Tecnologia Blockchain nos Processos de Manutenção em Uma Indústria do Setor Eólico.** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2023, Campina Grande. UFCG, 2023. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/33109>. Acesso em: 02 junho 2025.

SILVA, Victor Mourão. **Análise do Controle de Estoque de Medicamentos em Uma Farmácia Municipal Utilizando Classificação ABC, XYZ, 123, Previsão de Demanda E**

Simulação Computacional. 2024. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.

SOARES JÚNIOR, Gilberto Gomes et al. Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0 Aplicadas para Melhoria da Segurança do Trabalho na Construção Civil. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 16, n. 8, p. 119-138, 2021.

TEIXEIRA, Cynthia Helena Soares Bouças et al. A Economia Circular na Era da 4ª Revolução Industrial—Uso da Tecnologia Rumo à Transição. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 95088-95101, 2021.

ZANETTE, Ney Carlos et al. **Plano de Ação Educacional para Implantação de Sistema de Gestão em Uma IFES.** 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024.