



Blockchain na Indústria 4.0: Caso de estudo na indústria farmacêutica

LUÍS FRANCISCO RODRIGUES DE SOUSA

Outubro de 2023

Blockchain na Indústria 4.0: Caso de estudo na indústria farmacêutica

Luís Francisco Rodrigues de Sousa

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática, Área de Especialização em
Sistemas Gráficos e Multimédia**

Orientadora: Ana Maria Madureira

Porto, outubro 2023

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade.

Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Portanto, o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P. PORTO.

ISEP, Porto, 13 de outubro de 2023

Luis Francisco Rodrigues de Sousa

Resumo

A indústria farmacêutica ocupa um lugar de grande destaque na economia global, não só devido às consequências que exerce na saúde e qualidade de vida da população, como também devido ao elevado grau de exigência em inovação e soluções tecnológicas. Um dos principais problemas deste setor consiste em garantir a integridade e segurança da cadeia de distribuição de fármacos.

A indústria 4.0, também conhecida como Quarta Revolução Industrial, trouxe uma grande evolução tecnológica que se refletiu, entre outros setores, na indústria farmacêutica. Apesar de já existirem soluções no mercado, inclusive com a utilização da *Blockchain* com o objetivo de diminuir este problema, a verdade é que os últimos dados têm demonstrado que ainda existem problemas neste setor.

Neste documento será realizado um estudo das tecnologias já existentes e apresentada uma solução com o objetivo de tentar combater os problemas de falsificação de fármacos existentes, através de um novo tipo de sistema que consiga controlar todo o percurso de um produto farmacêutico desde o registo da sua encomenda até ser entregue ao consumidor.

Palavras-chave: *Blockchain*, Indústria 4.0, Segurança, Transparência, Imutabilidade, Indústria Farmacêutica

Abstract

The pharmaceutical industry occupies a prominent place in the global economy, not only because of the consequences it has on the health and quality of life of the population, but also because of the high level of demand for innovation and technological solutions. One of the main problems in this sector is to guarantee the integrity and safety of the drug distribution chain.

Industry 4.0, also known as the Fourth Industrial Revolution, brought a great technological evolution that was reflected, among other sectors, in the pharmaceutical industry. Although there are already solutions on the market, including the use of Blockchain with the aim of reducing this problem, the truth is that the latest data has shown that there are still problems in this sector.

In this document, a study of existing technologies will be carried out and a solution will be presented with the aim of trying to combat existing problems about falsification of pharmaceuticals through a new type of system that can control the journey of the medicine from its order until it is delivered to the consumer.

Keywords: *Blockchain*, Industry 4.0, Security, Transparency, Immutability, Pharmaceutical Industry

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à minha namorada, Inês, por toda a confiança e motivação que me transmitiu ao longo deste mestrado, juntamente com a elevada paciência e o incansável apoio e ajuda nestes últimos dois anos.

Agradeço à minha família por toda a confiança e apoio que depositaram em mim e, em especial, aos meus pais que me deram todas as condições e ferramentas necessárias para a realização deste mestrado.

Agradeço à professora Ana Maria Madureira pelo acompanhamento nesta jornada, pela sua extrema disponibilidade em ajudar e por transmitir conhecimentos que sempre foram úteis e fundamentais para o melhoramento da dissertação.

Agradeço aos meus amigos que me ajudaram sempre que precisei, dando o seu contributo a esta caminhada.

Agradeço ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, por me permitir a realização de uma das fases mais importantes da minha vida.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Problema	3
1.3	Objetivos	3
1.4	Abordagem	4
1.5	Contributos.....	5
1.6	Estrutura	5
2	Estado de Arte	7
2.1	Indústria 4.0	7
2.1.1	Tecnologias utilizadas na Indústria 4.0	8
2.1.2	Benefícios da Indústria 4.0.....	11
2.1.3	Desafios e problemas na implementação da Indústria 4.0	12
2.2	Blockchain.....	13
2.2.1	Sistema descentralizado	14
2.2.2	Definição de <i>Blockchain</i>	14
2.2.3	Tipos de <i>Blockchain</i>	15
2.2.4	Características de <i>Blockchain</i>	16
2.2.5	Benefícios da <i>Blockchain</i>	17
2.2.6	Plataformas <i>Blockchain</i>	19
2.2.7	Tecnologias alternativas à <i>Blockchain</i>	20
2.3	Blockchain na Indústria 4.0	22
3	Análise de Valor	23
3.1	Processo de inovação	23
3.1.1	New Concept Development (NCD)	24
3.1.2	Identificação da oportunidade	26
3.1.3	Análise da oportunidade	26
3.2	Valor da solução.....	28
3.3	Proposta de valor	28
4	Desenvolvimento e Implementação	29
4.1	Metodologia de desenvolvimento	29
4.2	Design da solução	30
4.3	Arquitetura da base de dados	31
4.4	Controlo de encomendas.....	33
4.5	Interface do utilizador	33
4.6	Funcionalidades da implementação	34

4.6.1	Procurar informações da encomenda	34
4.6.2	Criar Conta.....	36
4.6.3	Obter estatísticas sobre as encomendas.....	37
4.6.4	Criar encomendas.....	38
5	Avaliação e Experimentação	39
5.1	Hipótese de Investigação	39
5.2	Indicadores e fontes de informação	40
5.3	Metodologia de Avaliação.....	40
5.4	Testes e Resultados.....	43
6	Conclusão	45
6.1	Limitações e Melhorias	45
6.2	Trabalho futuro.....	46
6.3	Apreciação global	47

Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa global de incidentes por falsificação por país (Mackey et al., 2015)	2
Figura 2 - Abordagem adotada para resolução do problema	4
Figura 3 - Evolução industrial ao longo do tempo (Xu et al., 2018)	8
Figura 4 - Características e capacidades dos sistemas autónomos industriais (Müller et al., 2021).....	9
Figura 5 - Média de Ciberataques semanais por Organização em cada Indústria em 2021 (Brooks, 2022)	13
Figura 6 - Sistema (a) centralizado com intermediários (b) Blockchain descentralizado	14
Figura 7 - Diferenças entre a arquitetura da <i>Blockchain</i> pública e privada (Paul et al., 2021) ..	15
Figura 8 - Implementação da Blockchain nas diferentes indústrias (Javaid et al., 2021)	18
Figura 9 - Benefícios básicos da tecnologia <i>Blockchain</i> . Adaptado de (Paul et al., 2021).....	18
Figura 10 - Visão geral das tecnologias <i>Blockchain</i> , <i>Tangle</i> e <i>Hashgraph</i>	21
Figura 11 - Processo de inovação (Koen et al., 2002).....	24
Figura 12 - <i>New Concept Development</i> (Koen et al., 2002).....	25
Figura 13 - Modelo Osterwalder (Osterwalder et al., 2015)	28
Figura 14 - Design da solução	31
Figura 15 - Arquitetura da base de dados da Aplicação <i>PharmaVision</i>	32
Figura 16 – <i>Homepage</i> da Aplicação <i>PharmaVision</i>	33
Figura 17 - Logótipo da Aplicação <i>PharmaVision</i>	34
Figura 18 - Pesquisa da encomenda na aplicação <i>PharmaVision</i>	35
Figura 19 - Página de criação de conta.....	36
Figura 20 - Página de estatísticas disponível para os fornecedores.....	37
Figura 21 - Gráfico de resultados da questão tipo de participante.....	43
Figura 23 – Gráfico relativo à responsividade do website	43
Figura 22 – Gráfico relativo ao quão intuitivo é o website	43
Figura 24 - Gráfico relativo ao resultado se conseguiu procurar pelas informações da encomenda.....	44
Figura 25 - Gráfico relativo ao resultado se conseguiu procurar pelas informações da encomenda atualizada	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparação entre as plataformas <i>Blockchain</i> (adaptado de (Sheth & Dattani, 2019))	20
Tabela 2 – Análise SWOT: <i>Blockchain, Tangle e Hashgraph</i> (adaptado de (El Ioini & Pahl, 2018))	21
Tabela 3 - Comparação entre <i>Ethereum</i> e <i>Cardano</i> em diferentes parâmetros.....	27
Tabela 4 - Dimensão da Adaptabilidade do QEF representativo da solução	41
Tabela 5 – Dimensão da Eficiência do QEF representativo da solução.....	41
Tabela 6 - Dimensão Funcional do QEF representativo da solução	42

Lista de Excertos de Código

Excerto de Código 1- Método para obter a informação da encomenda	35
Excerto de Código 2 - Criação de utilizador no sistema da PharmaVision.....	36
Excerto de Código 3 - Validação de login na plataforma	37
Excerto de Código 4 - Método que recebe a informação da API do fornecedor	38

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

API	<i>Application Programming Interface</i>
BE	<i>Back-End</i>
CPS	<i>Cyber-physical systems</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DAML	<i>Digital Asset Modelling Language</i>
ETH	<i>Ether</i>
FE	<i>Front-End</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
IA	Inteligência Artificial
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISF	Instituto de Segurança Farmacêutica
I4.0	Indústria 4.0
ML	<i>Machine Learning</i>
NCD	<i>New Concept Development</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
P2P	<i>Peer to Peer</i>
PoS	<i>Proof-of-Stake</i>
PoW	<i>Proof-of-Work</i>
QEF	<i>Quantitative Evaluation Framework</i>

1 Introdução

Nesta secção é elaborada uma breve introdução e enquadramento acerca da falta de segurança e gestão na cadeia de distribuição de fármacos. Serão ainda enumerados os objetivos e contributos que a aplicação *PharmaVision* poderá ter na diminuição da fraude de medicamentos e, ainda, o tipo de abordagem adotado. O último subcapítulo descreve a estrutura do documento, de forma a ajudar na sua leitura e compreensão.

1.1 Enquadramento

Este trabalho de mestrado foi elaborado, sob a forma de dissertação, para a unidade curricular de Tese / Dissertação / Estágio, que se insere no plano de estudos do mestrado em Engenharia Informática – Sistemas Gráficos e Multimédia do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

O aumento da esperança média de vida e conseqüente envelhecimento da população, juntamente com o aumento dos custos associados à saúde trouxeram a necessidade de desenvolver novas abordagens no setor farmacêutico. Os sistemas de saúde podem ser considerados economias em expansão onde os recursos financeiros e humanos são, geralmente, escassos, o que pode contribuir para uma degradação da qualidade de vida (Tortorella et al., 2020).

A Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0 (I4.0) permitiu a criação de novas oportunidades e meios para estes sistemas alcançarem níveis de desempenho superiores. A aplicação da tecnologia na saúde permitiu aumentar o nível de interconectividade e automação, o que possibilitou uma maior eficiência tanto no atendimento ao paciente como

também na administração de processos hospitalares (Tortorella et al., 2020). Um dos setores mais abrangidos pela I4.0 foi o setor farmacêutico, não só na parte de produção como também de distribuição de fármacos (Wan et al., 2019).

A indústria farmacêutica situa-se numa posição de grande destaque na economia mundial, muito devido às consequências que exerce no bem-estar social e na influência que possui na saúde e qualidade de vida da população. Esta é uma indústria que se distingue das restantes devido ao elevado grau de exigência em inovação e soluções tecnológicas. Neste setor é essencial que toda a informação seja documentada e que todos os regulamentos sejam cumpridos, não só durante o processo de investigação e desenvolvimento, como também durante a produção e distribuição de todos os produtos.

Um dos problemas mais complexos e desafiantes da atualidade consiste em garantir a integridade e segurança da cadeia de distribuição de fármacos. Substâncias perigosas de produtos farmacêuticos são vendidas ilicitamente e constituem uma ameaça, não só para a segurança dos pacientes, como também para a saúde pública global (Mackey et al., 2015).

O Instituto de Segurança Farmacêutica (ISF), uma organização associativa sem fins lucrativos de diretores de segurança de empresas farmacêuticas, determinou que entre 2005 e 2010 houve um aumento de 66% no crime de furto de medicamentos e 122% no crime de falsificação (Mackey et al., 2015). A Figura 1 mostra o mapa global de incidentes por falsificação de fármacos, por país, entre 2009 e 2011 (Mackey et al., 2015).

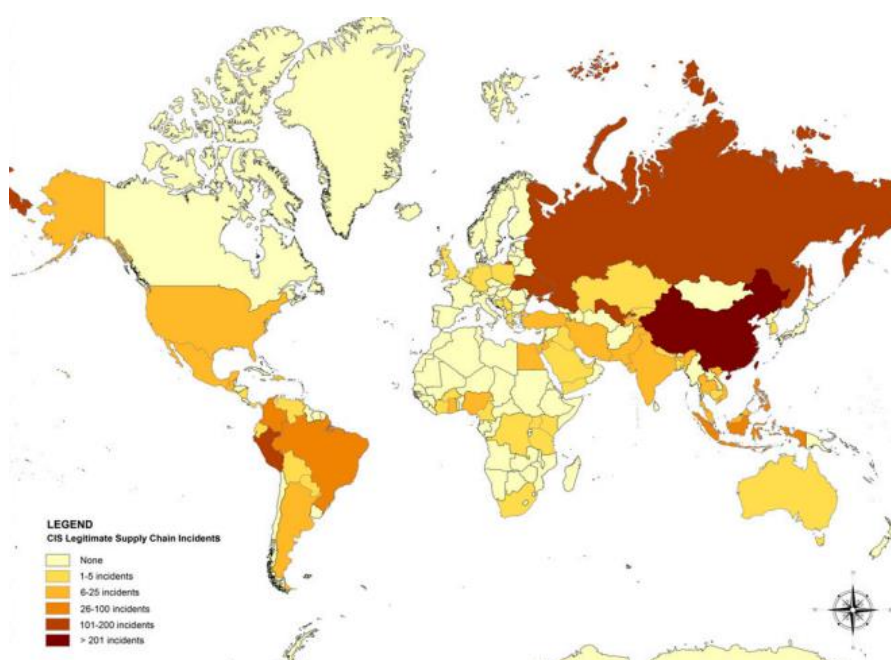


Figura 1 - Mapa global de incidentes por falsificação por país (Mackey et al., 2015)

A Organização Mundial de Saúde (OMS) lançou, no dia 23 de janeiro de 2023, um apelo urgente a todos os países para prevenirem, detetarem e responderem a incidentes de produtos farmacêuticos que estão a ser falsificados ou vendidos com qualidade inferior. Este apelo vem no seguimento de vários incidentes reportados nos últimos quatro meses, em que xaropes para a tosse têm sido prescritos para crianças com infeções confirmadas e em que a sua composição foi alterada com produtos tóxicos (como solventes industriais e agentes anticongelantes) que podem ser fatais, mesmo quando ingeridos em pequenas quantidades. Foram confirmados casos em, pelo menos, sete países, tendo sido associadas mais de 300 mortes a este crime em três desses países: Gâmbia, Indonésia e Uzbequistão (Organization, 2023).

1.2 Problema

Em Portugal, é conhecido que a Autoridade Nacional do Medicamento e Produtos de Saúde (INFARMED) “colabora, com regularidade, com outras autoridades nacionais para a realização de ações de fiscalização conjuntas, no âmbito das suas competências” (INFARMED, 2023). No entanto, apesar do sistema utilizado atualmente não ser de acesso público, os factos apresentados no enquadramento demonstram a falta de segurança e gestão que existe, tanto a nível de produção como de distribuição dos fármacos. Problemas a estes níveis podem desencadear consequências muito graves, não só na saúde da população, como também na economia mundial. A presente dissertação tem como objetivo ajudar no combate à falsificação dos fármacos e ajudar a melhorar a cadeia de distribuição atual.

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste projeto é desenhar e desenvolver uma solução que permitirá aos fornecedores e distribuidores de fármacos usufruírem das potencialidades da tecnologia *Blockchain*. Esta solução consiste no desenvolvimento de uma aplicação, a *PharmaVision*, que permitirá uma melhor transparência, imutabilidade, gestão em tempo real e maior poupança de custos e tempo, criando um sistema mais seguro capaz de ajudar no combate à falsificação de fármacos e indiretamente ajudar na sua cadeia de distribuição, que são os principais problemas a resolver com esta aplicação.

De um modo particular, os fornecedores, depois de transmitirem ao sistema *PharmaVision* as encomendas que estão ativas, poderão verificar as informações referentes às

suas encomendas (distribuidor, tipo de fármaco, quantidades, data de entrega, etc.) e ainda estatísticas gerais sobre as encomendas realizadas até à data, permitindo uma visão macro de toda a sua rede de fornecimento, com análise de todas as variáveis. Por outro lado, os distribuidores e consumidores, poderão ser capazes de aceder a toda a informação correspondente às suas encomendas em tempo real, sendo que os dados das encomendas serão transmitidos através de um processo automatizado fornecido pela integração da I4.0 (sistemas dos fornecedores e distribuidores) com a *Blockchain*.

Desta forma, com o sistema finalizado, poderá ser possível demonstrar as vantagens que a implementação da *Blockchain* pode exercer na I4.0, neste caso em particular, no setor farmacêutico.

1.4 Abordagem

Com base no objetivo principal deste estudo, surge a questão de investigação “Como combater a falsificação de fármacos e melhorar a cadeia de distribuição atual?”. A partir deste ponto conseguimos idealizar e formular uma abordagem para a solução deste problema.

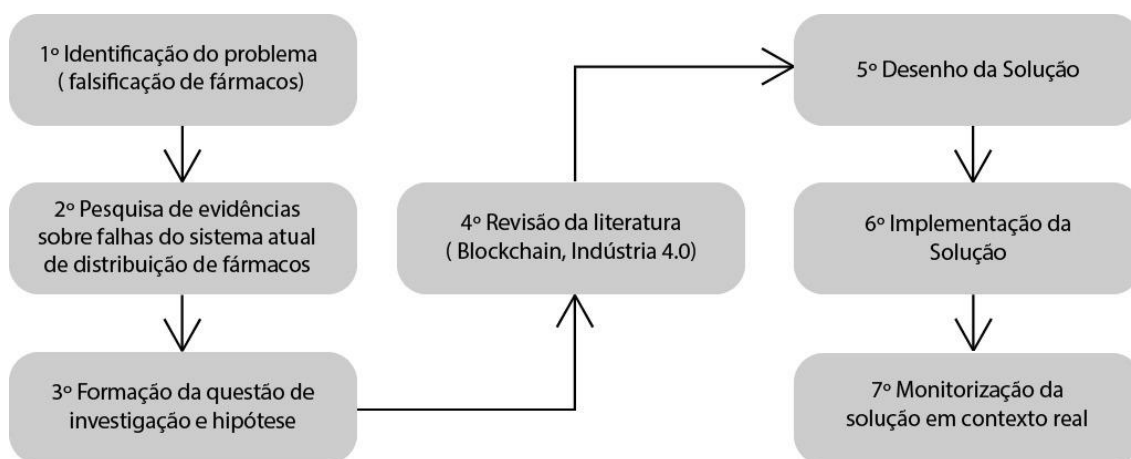


Figura 2 - Abordagem adotada para resolução do problema

Numa fase inicial devem ser estudados diversos conceitos relacionados com a tecnologia *Blockchain* e a I4.0, trabalhos relacionados, incluindo propostas de resolução de problemas com objetivos principais semelhantes. Para este estudo devem ser priorizados artigos científicos e

documentação de tecnologias, cujas fontes tenham sido consideradas seguras e fiáveis. Toda a informação recolhida será analisada e, tendo em conta a questão de investigação, será desenvolvida uma solução que consiga responder às necessidades exigidas pelo problema inicial.

Por fim, a solução deverá ser testada e avaliada de forma a garantir que consegue dar resposta aos objetivos definidos. A Figura 2 esquematiza a abordagem escolhida para solucionar o problema desta dissertação.

1.5 Contributos

Um dos principais contributos deste projeto é a demonstração da importância que a tecnologia *Blockchain* pode ter na I4.0, neste caso em específico na indústria farmacêutica, contribuindo para uma maior segurança e transparência na proteção e armazenamento dos dados, especialmente aqueles que estão relacionados com os produtos. Desta forma, será possível prevenir e reduzir a taxa de criminalidade no que toca à falsificação de fármacos e um melhoramento geral no que toca à cadeia de distribuição atual.

1.6 Estrutura

Ao longo do primeiro capítulo deste documento é feita uma breve introdução ao problema e aos principais objetivos deste estudo. O leitor fica, ainda, contextualizado acerca da questão de investigação e da abordagem adotada. Por fim, é explicada a estrutura dos capítulos que compõem este documento.

No segundo capítulo, referente ao estado de arte, encontra-se o estudo realizado sobre o domínio do problema e o aprofundamento dos conceitos de *Blockchain* e I 4.0, sendo também realizada uma análise das diferentes abordagens, tendo em conta as principais vantagens e desvantagens.

O capítulo três, apresenta a análise de valor onde começa por ser realizada uma identificação da oportunidade no contexto atual da indústria farmacêutica e, de seguida, uma análise dessa mesma oportunidade. Ainda neste capítulo é explicado o valor desta solução bem como uma proposta associada a esse valor.

De seguida é apresentado o capítulo quatro que expõe o design e a implementação da solução. Neste capítulo é demonstrada a metodologia utilizada e um esquema da arquitetura da base de dados e da solução em geral. Além disso, também faz referência aos diferentes casos de usos presentes na plataforma e uma explicação detalhada do seu funcionamento.

O quinto capítulo remete para a avaliação e experimentação da solução, onde é apresentada a hipótese de investigação assim como os indicadores e fontes de informação. Adicionalmente é também explicada a metodologia de avaliação da solução apresentada neste documento.

Por fim, o sexto capítulo é referente à parte final da dissertação abordando as limitações deste projeto e o trabalho futuro que pode vir a ser desenvolvido. O último subcapítulo apresenta uma apreciação global de todo o projeto.

2 Estado de Arte

Nos últimos anos tem existido uma grande evolução tecnológica no mundo, alterando completamente o nosso quotidiano. No mundo empresarial existiu uma transformação digital, isto é, uma integração da tecnologia digital em todas as áreas funcionais de uma empresa e que influencia a forma como elas operam e o valor que acrescentam aos seus clientes. Nesta transformação digital inserem-se duas grandes tecnologias: *Blockchain* e I4.0.

Este capítulo remete para o estudo dos diversos conceitos e tecnologias considerados relevantes para a compreensão do problema e desenho da solução. Não só engloba a identificação e o aprofundamento dos conceitos mais relevantes (*Blockchain* e I4.0), como também a análise de diferentes tecnologias, abordagens e aplicações já existentes. As vantagens e as desvantagens de cada abordagem também serão enumeradas nesta secção, assim como a comparação com abordagens propostas em trabalhos relacionados.

2.1 Indústria 4.0

Na história da indústria tecnológica é possível marcar três grandes revoluções: a primeira, marcada pelo aparecimento da máquina a vapor, a segunda pelo uso da eletricidade e a terceira marcada pelo aparecimento de computadores e aparelhos eletrónicos. Atualmente, o ser humano está a experienciar um novo marco: a quarta revolução industrial ou I4.0 (Da Costa et al., 2019; Xu et al., 2018). A Figura 3 representa a evolução industrial ao longo do tempo, tendo em conta o seu grau de complexidade (Xu et al., 2018).

Os sistemas de produção atuais devem ser, simultaneamente, flexíveis/ágeis, reativos, integrados e económicos, pois são estas as características que permitem que as empresas industriais se mantenham competitivas no mercado internacional. Para ser possível o desenvolvimento destas capacidades, as empresas precisam de projetar os seus processos de produção de forma adequada e de forma sistemática, seguindo abordagens baseadas em princípios sólidos e apoiadas por ferramentas e métodos eficientes (Mohamed, 2018).

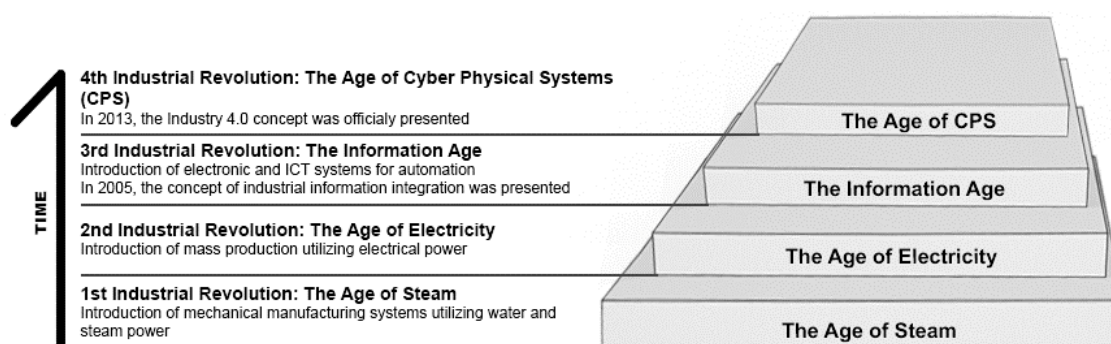


Figura 3 - Evolução industrial ao longo do tempo (Xu et al., 2018)

2.1.1 Tecnologias utilizadas na Indústria 4.0

Algumas tecnologias ou técnicas podem ser utilizadas na implementação da indústria 4.0 e aprimoramento de máquinas e dispositivos (Aoun et al., 2021). Nesta secção abordaremos as tecnologias mais significantes neste modelo de indústria.

2.1.1.1. Impressão 3D

O avanço da tecnologia de impressão em três dimensões (3D) facilitou a criação de objetos personalizados a partir de um projeto virtual, o que contribuiu para uma maior proximidade entre a ficção e a realidade. O desenvolvimento desta técnica permitiu o melhoramento de vários setores, entre os quais, a indústria automobilística, aeroespacial, alimentar e da saúde, sendo esta última uma das que mais beneficiou com esta tecnologia ao trazer benefícios como a customização e personalização de produtos médicos, medicamentos e equipamentos e aumento da eficácia de procedimentos e técnicas já conhecidas (Matozinhos et al., 2017).

2.1.1.2. Sistemas Industriais Autônomos

Definidos por Müller et al. (2021) como “sistemas técnicos delimitados que, sistematicamente e sem intervenção externa, atingem os objetivos definidos, apesar das condições ambientais incertas”. Estes autores consideram que a execução sistemática do processo, a adaptabilidade a condições incertas, a autogovernança e a própria contenção do sistema são as principais características/capacidades que constituem estes sistemas (Figura 4).

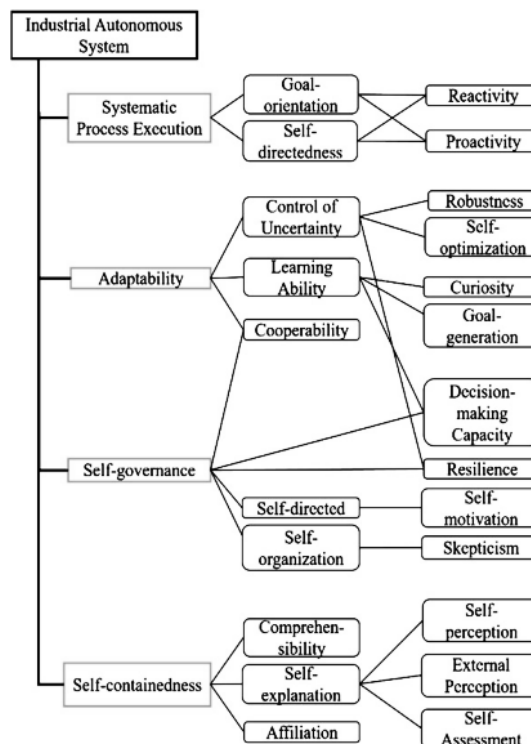


Figura 4 - Características e capacidades dos sistemas autônomos industriais (Müller et al., 2021)

2.1.1.3. Machine Learning (ML)

Campo da ciência da computação que estuda algoritmos e técnicas para automatizar soluções para problemas complexos que são difíceis de programar. Os quatro principais problemas que precisam de ser resolvidos por meio da ML são a previsão, *clustering*¹, classificação e redução da dimensionalidade (Zhang & Lu, 2021).

¹ *Clustering* – conjunto de técnicas que procura agrupar os dados automaticamente tendo em conta o seu grau de semelhança.

2.1.1.4. Inteligência Artificial (IA)

Campo da ciência computacional que se foca na criação de máquinas de tecnologia multidisciplinar com a capacidade de integrar cognição, ML, reconhecimento de emoções, interação humano-computador, armazenamento de dados, tomada de decisões e processamento de linguagem natural. Os algoritmos utilizam dados para aprender e melhorar o seu desempenho ao longo do tempo, permitindo que façam previsões, classifiquem informação e automatizem tarefas. No entanto, há algumas preocupações quanto aos potenciais riscos que a IA pode trazer como a substituição de empregos, potenciais vies na tomada de decisões e o uso desta tecnologia para fins nocivos (Lu, 2019).

2.1.1.5. Realidade aumentada

Permite aos utilizadores uma visão do mundo real sobreposto por dados digitais ou objetos virtuais. Atualmente esta tecnologia é utilizada em dispositivos móveis, fones e óculos. No entanto, os planos para esta tecnologia continuam a aumentar e prevê-se um melhoramento entre qualidade e custo da mesma (Matindale, 2019).

2.1.1.6. Internet of Things (IoT)

Pode ser entendida como uma extensão da internet atual que permite aos objetos uma capacidade computacional e de comunicação para se conseguirem conectar à internet. Algumas das suas funcionalidades incluem uma infraestrutura de rede com capacidade de autoconfiguração, uma rede inteligente de sensores e elevada monitorização (Xu et al., 2018).

2.1.1.7. Cloud computing

Tecnologia que oferece um alto desempenho com baixo custo, alocação dinâmica, extensão flexível, entre outras inúmeras vantagens. Uma grande quantidade de dados pode ser carregada para a nuvem para armazenamento e computação, o que facilita os processos de fabrico e produção (Xu et al., 2018).

2.1.1.8. Cyber-Physical Systems (CPS)

Sistemas projetados e construídos dependendo da integração de algoritmos computacionais e componentes físicos. Os avanços em CPS permitiram aumentar a adaptabilidade, resiliência, escalabilidade, capacidade, segurança e usabilidade em relação aos sistemas atuais. Os CPS mais recentes impulsionarão inovações em setores de produção, energia, transporte, agricultura, automação e cuidados de saúde (Xu et al., 2018).

2.1.2 Benefícios da Indústria 4.0

A I4.0 traz muitos benefícios para as empresas nas suas mais variadas dimensões (Mohamed, 2018):

- Planeamento e controlo mais avançados com dados relevantes e em tempo real;
- Reações rápidas a mudanças de pedidos, níveis de stock e erros;
- Produção mais sustentável e maior eficiência de recursos (materiais, energia, pessoas);
- Produção flexível e de maior qualidade;
- Aumento da produtividade;
- Imagem de empresa inovadora;
- Aumento da vantagem competitiva pela implementação bem-sucedida do modelo de negócio digital e criação de tecnologia;
- Redução de custos e desperdícios;
- Condições de trabalho mais seguras;
- Novos locais de trabalho;
- Maior equilíbrio entre vida profissional e pessoal;
- Aumento das receitas;
- Personalização de produtos;
- Maior nível de satisfação do cliente.

2.1.3 Desafios e problemas na implementação da Indústria 4.0

Apesar de, à primeira vista, a I4.0 proporcionar grandes benefícios, a verdade é que existem vários desafios e problemas que se colocam na sua implementação (Mohamed, 2018):

- a) **Elevados custos de implementação:** dos principais problemas que se colocam na implementação da infraestrutura de tecnologia necessária, uma vez que existem gastos significativos em *hardware*, *software* e pessoal qualificado. Estes são necessários e fundamentais para a integração de dispositivos IoT, sistemas de IA e outras tecnologias de ponta;
- b) **Gestão de dados:** as grandes quantidades de dados produzidas pelas tecnologias da I4.0, além de precisarem de ser bem geridos (o que requer conhecimento e habilidades especializadas) também trazem grandes preocupações quanto à segurança e privacidade desses mesmos dados;
- c) **Falta de trabalhadores qualificados:** a implementação da I4.0 exige conhecimento especializado em áreas como engenharia de *software*, análise de dados e ML;
- d) **Interoperabilidade:** a integração de diversas tecnologias e sistemas pode ser difícil, principalmente se forem criados por diversos fornecedores que utilizem protocolos de comunicação diferentes. Desta forma, é necessário garantir que todos esses sistemas consigam comunicar entre si sem problemas;
- e) **Oposição à mudança:** uma vez que a I4.0 exige novas formas de gerir processos de fabricação e operação, a sua implementação exige uma transformação cultural considerável, principalmente a nível económico;
- f) **Problemas de segurança:** a conexão e automação aprimoradas da I4.0 trazem novas ameaças à segurança. O risco de ataques cibernéticos aumenta à medida que mais dispositivos e sistemas são integrados.

A Figura 5 representa a média de ciberataques semanais por Organização em cada Indústria em 2021, demonstrando que o setor da saúde se encontra na quinta posição dos alvos mais afetados (Brooks, 2022). Apesar de, à primeira vista, a aplicação da I4.0 não dever ser uma prioridade na área da saúde por poder agravar mais o estado de segurança atual, a verdade é que são necessários cada vez mais sistemas automatizados para fazer face às necessidades populacionais atuais. Juntar a tecnologia *Blockchain* à I4.0 é uma mais valia, uma vez que permitirá uma maior segurança em todos os processos e áreas, como poderemos comprovar no subcapítulo 2.2.

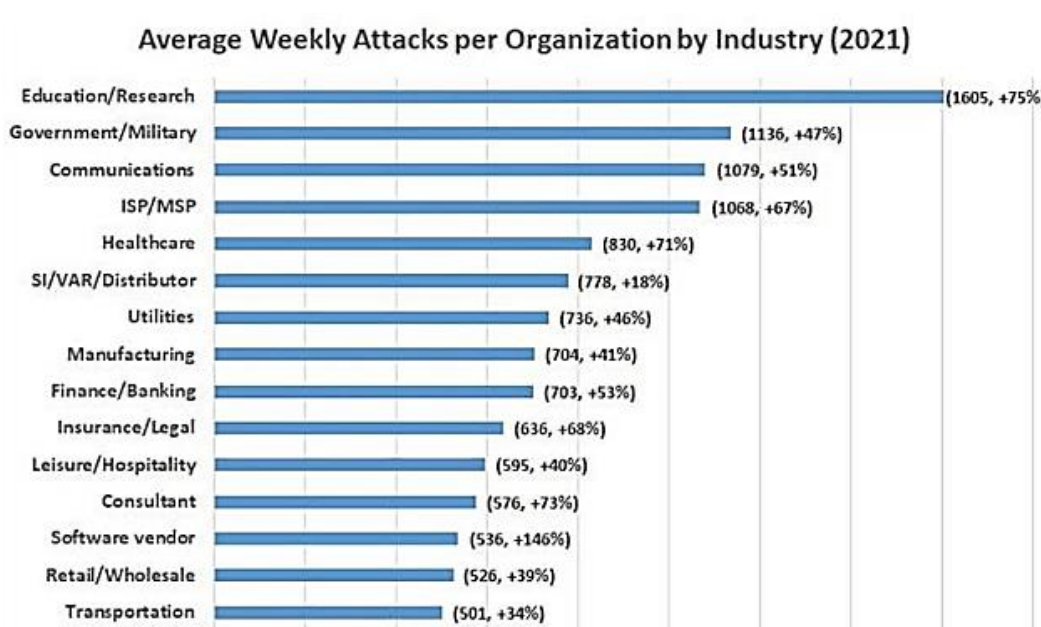


Figura 5 - Média de Ciberataques semanais por Organização em cada Indústria em 2021 (Brooks, 2022)

2.2 Blockchain

Tendo por base o centro do problema, é necessário entender o conceito de *Blockchain* e a importância que pode exercer na I4.0. Neste subcapítulo também serão abordados os tipos, características, benefícios e ainda plataformas *Blockchain*, além de tecnologias que podem ser utilizadas como alternativa à tecnologia estudada neste projeto.

2.2.1 Sistema descentralizado

Um sistema descentralizado pode ser entendido como um sistema que transfere o controlo e tomada de decisão de uma entidade centralizada para uma rede distribuída. Este tipo de sistema existe para reduzir o nível de confiança que as entidades devem depositar umas nas outras e, sobretudo, impedir a capacidade de uma entidade exercer autoridade ou controlo sobre as restantes, de maneira a não prejudicar a funcionalidade da rede (Puthal et al., 2018).

A forma de funcionamento deste processo implica que qualquer transação seja verificada por todas as entidades, através de um mecanismo de validação, sem que haja qualquer influência de uma entidade central (Puthal et al., 2018) (Figura 6) .

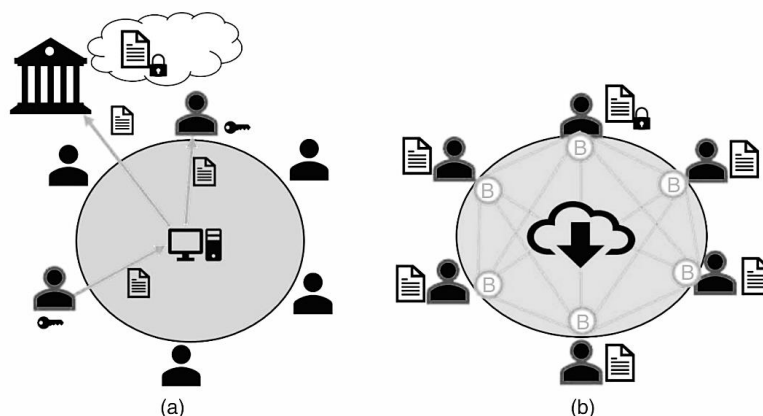


Figura 6 - Sistema (a) centralizado com intermediários (b) *Blockchain* descentralizado (Puthal et al., 2018)

2.2.2 Definição de *Blockchain*

Um sistema pode seguir duas abordagens arquitetónicas, isto é, distribuída ou centralizada. De um modo geral, a *Blockchain*, é uma tecnologia de base de dados distribuída, descentralizada e transparente, em que, dependendo um pouco de como a infraestrutura é utilizada, todas as transações podem ser públicas (Pierro, 2017). A *Blockchain* armazena os dados em blocos que estão interligados em cadeia. Esta é a tecnologia por detrás da *Bitcoin* e de outras criptomoedas mas, além da área financeira, a sua aplicação tem-se expandido rapidamente para outras áreas (Sheth & Dattani, 2019).

A *Blockchain* implementa uma comunicação de banco de dados distribuída *Peer to Peer* (P2P) que permite o armazenamento, verificação e auditoria de transações por todos os pares presentes na rede (Sheth & Dattani, 2019). Esta informação é imutável, sendo que não é possível excluir nem modificar a cadeia sem o consenso da rede. Apresenta ainda mecanismos integrados que impossibilitam a entrada de transações não autorizadas sendo, por isso, considerada um sistema seguro (Pierro, 2017). Em termos simples, a tecnologia *Blockchain* pode ser explicada pela frase: “é mais fácil roubar um biscoito de um pote isolado do que roubar um biscoito de um pote governado por centenas de pessoas” adaptada de (Patel et al., 2017).

2.2.3 Tipos de *Blockchain*

Os especialistas dividem a tecnologia *Blockchain* em 4 tipos principais (Paul et al., 2021; Sheth & Dattani, 2019):

- ***Blockchain* pública:** Neste tipo de *Blockchain* qualquer pessoa pode participar tal como acontece, por exemplo, na *Bitcoin*. É um sistema descentralizado. As principais vantagens passam por ser um tipo de rede aberta e transparente, no entanto é necessário um grande poder computacional. Este é um tipo muito utilizado no contexto empresarial.
- ***Blockchain* privada:** semelhante à *Blockchain* pública no sentido em que é uma rede P2P descentralizada, no entanto, uma organização governa a rede, controlando quem tem permissão para participar ou executar um protocolo. Dependendo do caso de uso, isto pode aumentar significativamente a confiança entre os participantes.

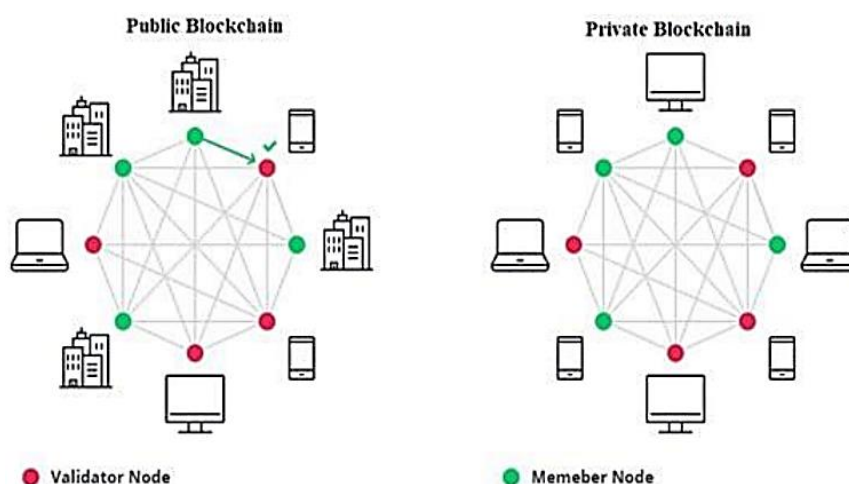


Figura 7 - Diferenças entre a arquitetura da *Blockchain* pública e privada (Paul et al., 2021)

- **Blockchain híbrida:** fusão entre a *Blockchain* pública e a *Blockchain* privada e é necessária para um melhor controlo quando o propósito é alcançar objetivos mais elevados. Este tipo lida com a centralização e também com sistemas descentralizados, não sendo uma rede aberta. No entanto, possui características como integridade, transparência e segurança.
- **Consortium Blockchain:** Utilizada quando várias organizações podem compartilhar as responsabilidades de manutenção de uma *Blockchain*. Estas organizações pré-selecionadas determinam quem pode enviar transações ou aceder aos dados. É o tipo ideal para negócios quando todos os participantes precisam de ter permissão e responsabilidade.

2.2.4 Características de *Blockchain*

Existem vários pontos que caracterizam a *Blockchain* tais como *Digital signatures*, *Proof of work* (PoW), *Consensus*, *Cryptographic hashes* e *Smart Contracts* (Puthal et al., 2018).

2.2.3.1. *Digital signatures*

Entidades que pretendam executar uma transação devem transmiti-la para toda a rede. O dono desta transação assina digitalmente e, de forma repetitiva, a chave pública por *hash*² para autenticação de origem. De seguida, transmite a transação para as outras entidades a conseguirem verificar.

2.2.3.2. *Proof of Work (PoW)*

É o valor procurado de um conjunto de valores que fazem com que o valor de *hash* criptográfico do bloco comece com N número de zeros. Isto é para proporcionar maior segurança e dar uma oportunidade de recompensa por pontos, proporcionando assim um incentivo para a entidade que realizar este cálculo de prova de trabalho.

² *hash* – valor gerado através de uma chave ou sequência de caracteres

2.2.3.3. Consensus

O facto da *Blockchain* funcionar em torno da descentralização, demonstra que não existem entidades terceiras confiáveis incumbidas do armazenamento e gestão segura dos dados, nem responsabilidade em qualquer caso de violação de segurança. Todas as entidades recebem a informação das transações num novo bloco e começam a trabalhar no *consensus protocol* para validar a transação. Se o *consensus* for baseado no PoW, então cada entidade começa a procurar aquele que seja o apropriado.

2.2.3.4. Cryptographic hashes

Quando uma prova de trabalho (PoW) é encontrada por uma entidade, o bloco é transmitido para todos os participantes que, depois de calcularem um *hash* criptográfico, aceitam adicionando-a à sua cadeia de blocos. A cadeia de blocos mais longa é a mais confiável, sendo adicionada à *Blockchain* quando as entidades recebem múltiplos blocos simultaneamente.

2.2.3.5. Smart Contracts

Na *Blockchain*, os *smart contracts* são contratos autoexecutáveis. Com base em critérios e condições pré-determinados, eles permitem transações automatizadas.

2.2.5 Benefícios da *Blockchain*

A *Blockchain* possui várias capacidades que podem ser utilizadas para a expansão e implementação das crescentes perspectivas associadas à Indústria 4.0. Esta tecnologia é aplicável em diferentes áreas e setores (Figura 8) como negócios e comércio, ensino, sistemas médicos e de saúde, governo e administração, entretenimento e bancos. Estas aplicações têm aumentado exponencialmente e prevê-se que o aumento continue a este ritmo (Paul et al., 2021)

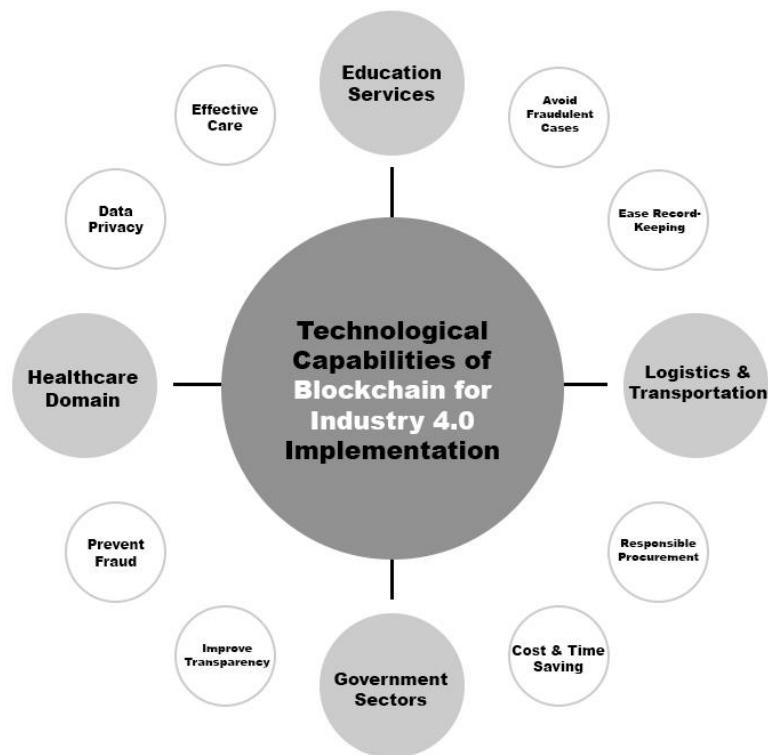


Figura 8 - Implementação da Blockchain nas diferentes indústrias (Javaid et al., 2021)

Na Figura 9 podemos ver resumidos os benefícios básicos que a tecnologia *Blockchain* pode ter. Estes benefícios, em termos práticos, conseguem traduzir-se em diversas vantagens para o nosso quotidiano, entre elas, o aumento da prevenção de casos fraudulentos, o aumento do atendimento eficaz e da facilidade de manutenção de registos, da economia de tempo e custos e, acima de tudo, permitem uma maior transparência (Javaid et al., 2021)



Figura 9 - Benefícios básicos da tecnologia *Blockchain*. Adaptado de (Paul et al., 2021)

No entanto, nem sempre foi assim. As primeiras tecnologias *Blockchain* tinham várias limitações, entre as quais um desempenho relativamente lento, transações limitadas e também a autenticidade das transações (Williams, 2022). Desta forma, nos próximos subcapítulos serão exploradas algumas tecnologias *Blockchain* e ainda outras tecnologias alternativas à mesma.

2.2.6 Plataformas *Blockchain*

Existem diversas plataformas *Blockchain* que podem ser consideradas tendo em conta as suas especificidades (Sheth & Dattani, 2019), (Worley & Skjellum, 2018):

- a) **Cardano:** *Blockchain* pública, em que as suas duas principais características se focam no seu algoritmo de consenso (*Proof-of-Stake*) e no facto da Cardano ser impulsionada pela comunidade, ou seja, os *stakeholders*³ são incentivados a participar nas votações que decidem o futuro da plataforma.
- b) **Ethereum:** É uma *Blockchain* pública, baseada num sistema distribuído, que não é controlada por uma autoridade central e permite aos desenvolvedores construir aplicações de *software* suportadas pelo seu *token* chamado *ether* (ETH). Além disso, permite aos utilizadores realizarem transações através dos *smart contracts*.
- c) **R3 Corda:** É uma *Blockchain* completamente privada, criada pela união dos principais bancos mundiais. É baseada numa infraestrutura composta por *nodes*⁴, responsáveis pela implementação dos *smart contracts*.
- d) **Hyperledger:** É uma *Blockchain* privada destinada para as empresas e é a primeira a permitir que os *smart contracts* sejam escritos em linguagens gerais de programação como Java ou Node JS.
- e) **Quorum:** *Blockchain* privada desenvolvida por JP Morgan e foi o primeiro passo para a implementação de *Blockchain* no setor financeiro. Tem como principal objetivo a confidencialidade dos registos (principal preocupação das instituições financeiras).
- f) **Ripple:** Projetada para transações rápidas e baratas. É gerida por uma rede de *nodes* independentes e tem como característica especial o facto do *token* XRP não pode ser *mined* como a *Bitcoin* ou outra criptomoeda, mas sim emitido no seu começo.

³ *Stakeholders* – Parte interessada de uma empresa que pode afetar ou ser afetada pelas operações e desempenho da empresa como, por exemplo, investidores e funcionários.

⁴ *Nodes* – unidade básica de uma estrutura de dados como, por exemplo, uma estrutura de dados em árvore. Os *nodes* contêm dados e também se podem vincular a outros *nodes*.

A Tabela 1 mostra a comparação entre as diferentes plataformas *Blockchain* em diversos domínios.

Tabela 1 - Comparação entre as plataformas *Blockchain* (adaptado de (Sheth & Dattani, 2019))

PARÂMETRO	PLATAFORMA BLOCKCHAIN					
	Cardano	Ethereum	R3 Corda	Hyperledger	Quorum	Ripple
TIPO DE INDÚSTRIA	Indústria transversal	Indústria transversal	Setor financeiro	Indústria transversal	Indústria transversal	Setor financeiro
GOVERNANÇA	Impulsionado pela comunidade	Desenvolvedores Ethereum	R3	Fundação Linux	Desenvolvedores Ethereum e JP Morgan	Ripple Labs
TIPO DE BLOCKCHAIN	Pública	Pública	Privada	Privada	Privada	Privada
ALGORITMO DE CONSENSO	Proof-of-Stake	Proof-of-Work	Pluggable framework	Pluggable framework	Votação pela maioria	Votação probabilística
CRIPOMOEDA	ADA	ETH	----	----	----	XRP
SMART CONTRACTS	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

2.2.7 Tecnologias alternativas à *Blockchain*

Dois novas tecnologias surgiram no seguimento da *Bitcoin*: *Tangle* e *Hashgraph*. Embora estas também sejam tecnologias semelhantes à *Blockchain*, as diferenças mais marcantes são na disseminação de informação e obtenção de consenso (Schueffel, 2017).

Tangle: Nesta tecnologia, a adição de uma nova transação confirma automaticamente as duas transações anteriores, ou seja, o criador da nova transação, indiretamente, confirma que uma subsecção da *Tangle* é válida e está conforme as regras do protocolo, sendo isto a *PoW* da *Tangle*. É importante notar que ao fazer isto, a transação não precisa de ser aprovada pela comunidade, pois a *Tangle* consegue chegar a um consenso sem o envolvimento dos *miners*.

Hashgraph: Utiliza um método diferente de partilha de informação e consenso, sendo ele através de rumores. Um participante da rede é obrigado a partilhar a informação das transações com outros escolhidos aleatoriamente. O próximo *node* irá combinar a informação recebida com a informação dos outros participantes e adicionar informação de novas transações sucessivamente. Isto permite um novo mecanismo de consenso, chamado “votação virtual”. Visto que todos os *nodes* da rede têm uma cópia do histórico de transações, juntamente com a informação de quem a recebeu, conseguem calcular qual seria a reação dos *nodes* à transação, ou seja, cada *node* sabe no que o outro iria votar sem a votação acontecer.

A Figura 10 representa a visão geral da *Blockchain* e das tecnologias alternativas explicadas anteriormente. Na Tabela 2 está demonstrada uma análise SWOT das 3 tecnologias.

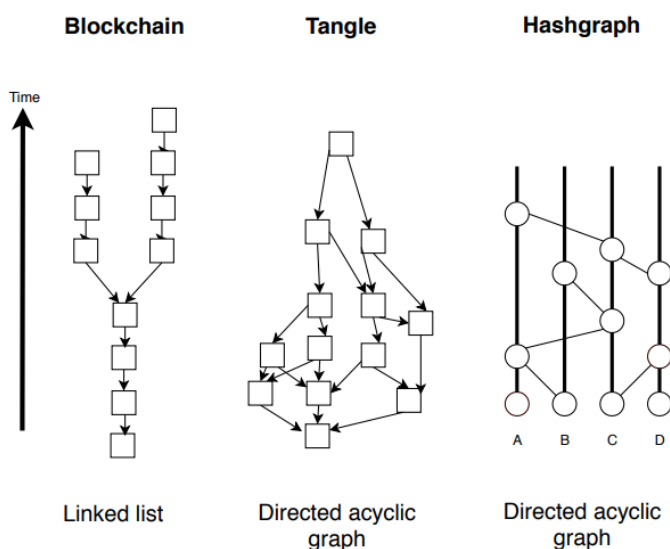


Figura 10 - Visão geral das tecnologias *Blockchain*, *Tangle* e *Hashgraph*.
Adaptado de (El Ioini & Pahl, 2018)

Tabela 2 – Análise SWOT: *Blockchain*, *Tangle* e *Hashgraph* (adaptado de (El Ioini & Pahl, 2018))

SWOT	Blockchain	Tangle	Hashgraph
Forças	-Transparência -Muitas implementações -Em uso comercial	-Não é necessária mineração -Sem taxa de transação -Segurança quântica	- Elevado número de transações -Justiça -Escala no número de transações
Fraquezas	-Blocos de tamanho pequeno -Baixa velocidade de processamento -Baixa escalabilidade (dependendo do tipo) - Falta de interoperabilidade -Taxas de transações	-Gerida apenas por uma organização	-Elevados rumores -Implementa cara ou coroa para encerrar consenso -Rede privada
Oportunidades	-Automatização -Rastreabilidade -Transações rápidas mundialmente	- <i>Machine Economy</i>	-Inovação em todas as indústrias, especialmente pagamentos
Ameaças	-Regulação poderá ser um problema -Conformidade legal -Vontade governamental para adotar a tecnologia	-Necessária mais informação -Ainda experimental	-Tecnologia patenteada -Necessária mais informação -Funcionar em ambiente privado

2.3 Blockchain na Indústria 4.0

A tecnologia *Blockchain* tem vindo a demonstrar um impacto muito significativo na I4.0, particularmente nas áreas de gestão da cadeia de provisões e manutenção preditiva. Na primeira, a *Blockchain* tem o potencial de aumentar a transparência, eficiência e segurança no rastreamento de bens e materiais. Por exemplo, a implementação da *Blockchain* na indústria de alimentos tornou possível descobrir a origem dos produtos, registar todas as transações e monitorizar as condições das mercadorias durante o transporte. Isso ajudou a reduzir a taxa de desperdícios alimentares, fraudes, garantir a segurança alimentar e melhorar a experiência geral do cliente (Kayikci et al., 2022).

Outra área em que esta tecnologia possuiu um impacto significativo foi na manutenção preditiva. Ao combinar a tecnologia *Blockchain* com dispositivos IoT, tornou-se possível criar sistemas descentralizados que conseguem prever quando uma máquina provavelmente irá falhar. Isto permite uma manutenção proativa e reduz a necessidade de manutenção não programada, o que pode resultar numa redução significativa de custos e maior produtividade (Sang et al., 2020).

Por último, com a recente melhoria do ML (Rebala et al., 2019), os dispositivos que utilizam esta tecnologia podem filtrar dados maliciosos, o que motiva a instituir um sistema com a implementação da *Blockchain*, juntamente com IA para um sistema de deteção de ameaças. As contribuições únicas deste sistema incluem a deteção eficiente e gravação transparente do histórico dos dados numa *Blockchain*, que por sinal é imutável. Por fim, este sistema também contribui para facilitar a manutenção preditiva eficiente (Rahman et al., 2022).

Com o avançar da tecnologia, já foram várias as utilizações que mostram a diferença que a *Blockchain* pode exercer na I4.0. De facto, a sua utilização tem vindo a revolucionar vários setores, e é expectável que continue a fazê-lo, à medida que o seu estudo e aplicação continue a avançar. Alguns desses casos incluem o rastreamento do peixe/ marisco apanhado em alto mar até chegar aos supermercados, garantindo assim a integridade do produto e a transformação do setor da saúde, que com a *Blockchain* garante assim maior confiança, e proteção de dados, resultando num melhoramento dos cuidados de saúde de cada paciente (IBM, 2020).

No próximo capítulo será abordada a análise de valor, demonstrando a importância da *PharmaVision* no setor farmacêutico.

3 Análise de Valor

A análise de valor pode ser considerada um processo sistemático, organizado e formal de análise e avaliação de uma solução, ideia ou serviço de modo a cumprir os requisitos funcionais e de desempenho exigidos pelo cliente ou consumidor. O objetivo consiste sempre em tentar manter os custos o mais baixo possível, sem nunca prescindir da qualidade. Neste capítulo é realizada uma identificação da oportunidade no contexto atual da indústria farmacêutica e o seu valor será analisado com base no processo de inovação que utiliza o modelo *New Concept Development* (NCD) (Belliveau et al., 2004).

3.1 Processo de inovação

Este tipo de processo pretende reduzir a indefinição/ambiguidade das ideias antes de desenvolver o projeto. De acordo com Koen et al. (2002), o processo de inovação divide-se em três áreas (Figura 11):

- **Fuzzy Front End (FFE):** esta é, normalmente, a primeira fase do processo de inovação e geralmente é onde existem mais oportunidades para melhoramentos desse processo. Nesta fase é retratada uma desordem de ideias (semelhante ao *brainstorming*) pois existem várias incertezas relacionadas com o financiamento e comercialização do projeto.

- **New Product Development (NPD):** na fase do NPD já existe uma alteração de ambiente em que este é organizado e bem estruturado. Aqui, já existem objetivos com datas estabelecidas de acordo com os requisitos e equipas responsáveis pelo desenvolvimento contínuo e implementação da solução final.
- **Comercialização:** a comercialização é o culminar do resultado do FFE e NPD, em que, foi desenvolvido um produto/solução que passou por essas duas fases e está pronto para ser comercializado.

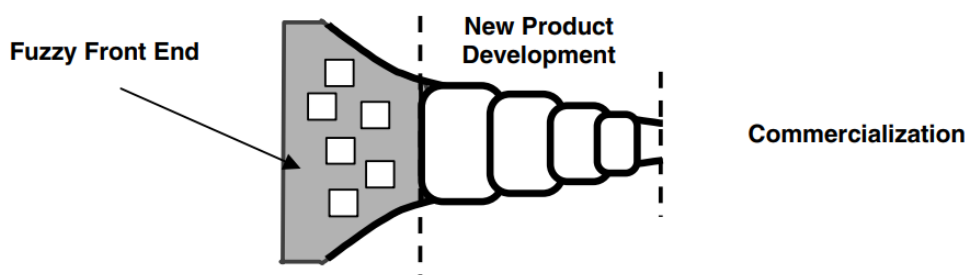


Figura 11 - Processo de inovação (Koen et al., 2002)

3.1.1 New Concept Development (NCD)

O processo de criar e analisar novos conceitos de bens ou serviços é chamado de *New Concept Development* (NCD). Este processo implica determinar as necessidades do mercado, investigar alternativas viáveis e criar um conceito de produto ou serviço que possa satisfazer essas necessidades. Gerar ideias, fazer triagem do conceito, testagem do conceito e análise de negócios são algumas das etapas que habitualmente se pratica no processo de NCD. Como demonstrado na Figura 12 existem três grandes partes que pertencem a este modelo, sendo elas o motor, a roda e o aro (Koen et al., 2002).

O motor é a base de criação de novos produtos/serviços, referindo-se a fatores, como a evolução da procura do consumidor, dos desenvolvimentos tecnológicos e novas oportunidades no mercado, em que estes atuam como combustível no desenvolvimento de novos produtos/serviços. A roda é caracterizada por descrever um processo organizado de

desenvolvimento de novos produtos/serviços. Esta utiliza a informação do motor para a transformar através de um processo constituído por 5 elementos: a identificação da oportunidade, análise dessa oportunidade, geração de ideias, seleção de uma ideia e definição do conceito da mesma. Por fim, o aro define a fronteira entre o processo de desenvolvimento e o mundo exterior. Este representa os fatores que influenciam e criam limitações ao processo, como por exemplo a alteração das tendências do mercado, atividade da concorrência e política. Com isto, torna-se responsável por garantir que o processo do novo produto/serviço seja compatível com o ambiente externo e capaz de atravessar qualquer obstáculo do mesmo.

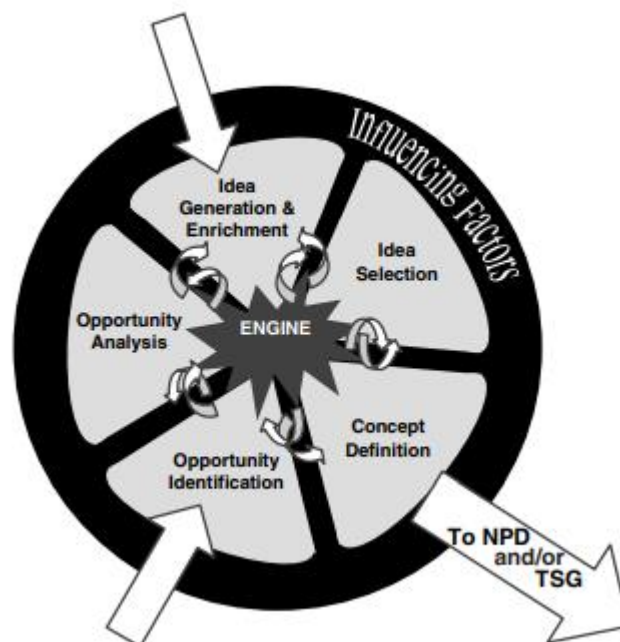


Figura 12 - *New Concept Development* (Koen et al., 2002)

Como foi mencionado anteriormente, na secção da roda existem vários elementos. Nesta análise de valor será apresentada a identificação e análise da oportunidade.

Em suma, o processo NCD é uma parte importante da inovação e do desenvolvimento de produtos, e é crucial para as empresas apresentarem e avaliarem constantemente novos conceitos para permanecerem competitivos no mercado atual que se encontra em rápida mudança.

3.1.2 Identificação da oportunidade

Como referido no enquadramento deste documento, existe um foco problemático na gestão e distribuição de fármacos, não só a nível nacional como a nível internacional. Atualmente, apesar de já ter existido uma evolução nos sistemas que realizam este controlo, continuam a surgir notícias como, por exemplo, a já abordada neste documento na qual a OMS lançou um apelo urgente devido a vários incidentes com xaropes para a tosse prescritos para crianças com infeções confirmadas, em que a sua composição foi alterada com produtos tóxicos, tendo surgido várias consequências negativas em vários países, como a confirmação de mais de 300 mortes em pelo menos três desses países.

Tendo por base esta notícia e o historial destes sistemas de gestão e distribuição de fármacos, e juntando também a evolução e popularidade da *Blockchain*, surgiu a oportunidade de desenvolver uma solução que permita a criação de um novo sistema com a implementação desta tecnologia na I4.0. Esta solução irá reduzir ou até mesmo evitar problemas no sistema atual farmacêutico.

3.1.3 Análise da oportunidade

Após a identificação da oportunidade, foi realizada uma pesquisa do mercado atual, tendo sido descoberto um projeto de grandes dimensões construído sobre a *Blockchain Ethereum* (Ethereum, 2023). Este projeto tinha como objetivo combater vários problemas da indústria farmacêutica como a falsificação de fármacos e ineficiências na cadeia de distribuição, através de funcionalidades da *Ethereum* como *smart contracts*, verificação de produtos e processo de pagamentos. Este projeto já teve ensaios, com sucesso, e é atualmente usado por grandes empresas farmacêuticas como a *Pfizer* e *McKesson*. Apesar de este projeto não apresentar vulnerabilidades concretas, existem melhorias que podem ser implementadas e que serão o fator diferenciador da solução apresentada nesta dissertação (MediLedger, 2021).

A solução apresentada neste estudo permitirá o acompanhamento do percurso de um fármaco desde o registo da sua encomenda até ser entregue ao consumidor. No entanto, a melhoria mais significativa pode diferir consoante a escolha da *Blockchain* que irá ser utilizada. A *Blockchain Ethereum* e *Cardano* (Cardano, 2023) são duas das mais populares utilizadas na construção de aplicações descentralizadas. Nesta solução, foi escolhida a *Blockchain Cardano*, sendo que tem demonstrado alguns benefícios em relação à *Ethereum*:

- **Escalabilidade:** a arquitetura *Cardano* foi realizada tendo em conta a sua escalabilidade, o que permite uma taxa de transferência de transação maior do que a *Ethereum*. Como consequência, a *Cardano* é capaz de lidar com mais utilizadores e transações sem degradar o desempenho (Badertscher et al., 2019);
- **Proof-of-Stake (PoS):** é uma técnica de consenso em *Cardano* que é mais segura e energeticamente mais eficiente do que a existente em *Ethereum* (PoW). Isto sugere que as transações em *Cardano* são mais sustentáveis e menos propensas à centralização (Kiayias et al., 2016);
- **Governança:** em *Cardano* existe uma forma única de governança que promove uma tomada de decisão descentralizada e interação com a comunidade, ou seja, os *stakeholders* têm mais controlo sobre a evolução da *Blockchain*, o que incentiva a inovação e a melhor tomada de decisão (*Built For The Community By The Community*);
- **Interoperabilidade:** a *Blockchain Cardano* apresenta mais flexibilidade e capacidade de integração, ou seja, consegue conectar-se e comunicar com outras *Blockchains* (Irakoze, 2023);
- **Verificação formal:** esta técnica foi usada na criação do código da *Cardano*, tendo sido demonstrada a precisão deste código matematicamente, e, conseqüentemente, confere menos falhas e menor vulnerabilidade (Cardano, 2020).

Tabela 3 - Comparação entre *Ethereum* e *Cardano* em diferentes parâmetros

	<i>Ethereum</i>	<i>Cardano</i>
Escalabilidade	-	+
<i>Proof-of-Work</i>	+	----
<i>Proof-of-Stake</i>	----	+
Governança	-	+
Interoperabilidade	-	+
Verificação formal	----	+

Legenda: (+) Melhor; (-) Pior; (----) Inexistente

Tendo em conta o problema de base desta dissertação, os objetivos pretendidos e as evidências do que pode ser melhorado nos sistemas atuais do mercado, foi possível concluir que há necessidade de estudar e implementar a solução proposta.

3.2 Valor da solução

O sistema atual utilizado pela indústria farmacêutica tem demonstrado que não é o mais eficiente ou eficaz, uma vez que ainda são evidentes as várias falhas como o furto e falsificação de fármacos, que originam alguns problemas não só na própria indústria como também na saúde pública global.

Tendo em conta a análise de oportunidade, a solução apresentada nesta dissertação irá reduzir consideravelmente, ou até eliminar, estes problemas que têm um grande impacto na população e economia de um país, ao diminuir o prejuízo das empresas e, acima de tudo, na prevenção de mortes por falsificação de medicamentos.

3.3 Proposta de valor

Esta solução que irá ser implementada através da *Blockchain* no contexto da I4.0 está relacionada às necessidades e ao contexto atual desta indústria e, atendendo a isto, irá fornecer ganhos e alívios associados. Esta demonstração na Figura 13 através da utilização do modelo de *Osterwalder* (Osterwalder et al., 2015).

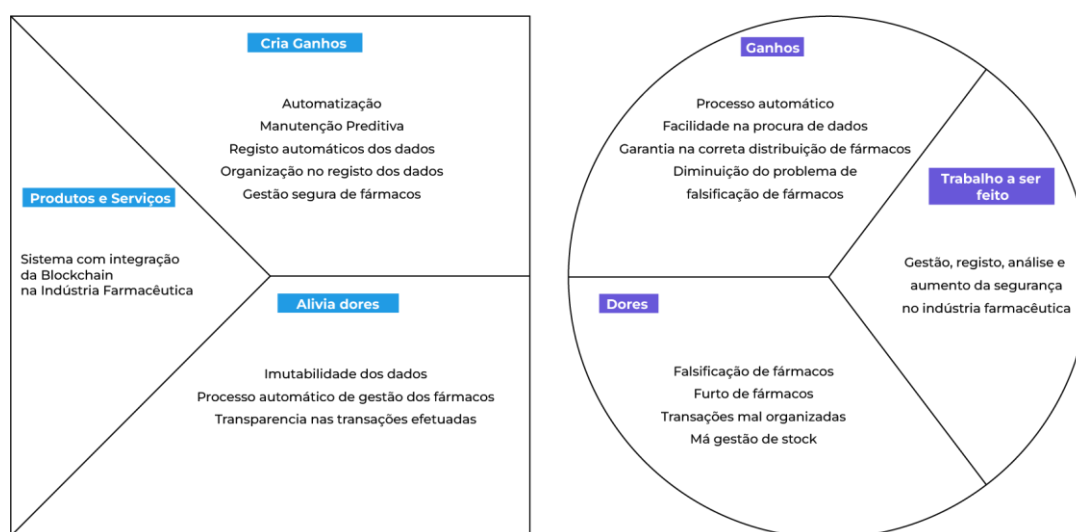


Figura 13 - Modelo Osterwalder (Osterwalder et al., 2015)

4 Desenvolvimento e Implementação

O desenvolvimento do projeto para aperfeiçoamento da cadeia de distribuição de fármacos foca-se na concretização de uma solução prática, tendo por base os objetivos de maior transparência, imutabilidade, gestão em tempo real e maior poupança de custos e tempo.

O objetivo deste capítulo é demonstrar de forma detalhada o processo de desenvolvimento da aplicação criada, destacando os principais passos dados em termos de design, metodologia de desenvolvimento e implementação. Desta forma serão destacadas as principais etapas envolvidas desde a ideia inicial até se tornar numa aplicação funcional onde será possível a verificação de todo o processo distributivo de um fármaco, tendo como ferramenta a *Blockchain*.

O principal objetivo da *PharmaVision* é fornecer aos vendedores, distribuidores e compradores todas as informações acerca da cadeia de distribuição do fármaco, tornando assim o processo mais transparente e, conseqüentemente, diminuindo o risco de fraude e/ou furto. Desta forma, foi tida em conta a arquitetura do sistema, a usabilidade da interface e todas as funcionalidades para que proporcionassem uma experiência de utilização segura e intuitiva.

4.1 Metodologia de desenvolvimento

Para o desenvolvimento da aplicação *PharmaVision* foi escolhida a metodologia *Agile*. Esta metodologia foi escolhida uma vez que permite desenvolver a aplicação através de várias iterações, tendo sempre *feedback* constante do trabalho que está a ser desenvolvido. Apesar

de ser uma metodologia mais trabalhosa e demorada, permite identificar e corrigir problemas mais rapidamente antes de avançar. Esta aplicação seguiu o padrão *standard* de fases de construção de uma aplicação: planeamento, design, implementação, testes e *deployment*.

Durante a fase de planeamento, foi iniciada a configuração de todas as ferramentas necessárias para a boa gestão deste projeto. Foram utilizadas as ferramentas Figma⁵ (Academy, 2023), onde foi realizado o design previsto para a interface do utilizador, e o Trello⁶ (Trello, 2023), para a melhor gestão e organização das tarefas durante o desenvolvimento da solução.

Depois de fazer o levantamento de todos os requisitos para a aplicação, procedeu-se à fase seguinte: design. Nesta fase, foi decidido utilizar Python como linguagem da *Application Programming Interface* (API) do *Back-End* (BE) e também a utilização de *Angular*, juntamente com *Hypertext Markup Language* (HTML) e *Cascading Style Sheets* (CSS) para o desenvolvimento do *Front-End* (FE) da solução.

Na fase da implementação, foi iniciado literalmente o processo de desenvolvimento da aplicação, incluindo a conexão à *Blockchain Cardano*, que era o objetivo principal deste projeto. Durante esta fase foram usadas as melhores práticas de programação para garantir a melhor eficiência e escalabilidade possíveis.

Durante a fase de testes foi criado um *Quantitative Evaluation Framework* (QEF) para avaliar a qualidade da solução. No entanto, para conseguir concluir a fase de testes, seria necessário proceder à fase de *deployment* em primeiro lugar. Tendo em conta que esta última fase não foi possível de ser realizada e que tem influência direta na fase anterior, a fase de testes foi considerada incompleta.

4.2 Design da solução

O sistema criado trata-se da combinação de BE com *Blockchain*, mais FE. O BE traduz-se num ecossistema entre *Python*, *Blockchain* e a *framework Django*. A *framework Django* atua

⁵ Figma - programa de desenho vetorial. Destina-se ao design de telas e os trabalhos podem ser exportados nos formatos jpg, png, svg e pdf.

⁶ Trello - ferramenta visual que permite à equipa fazer a gestão de qualquer tipo de projeto, fluxo de trabalho ou acompanhamento de tarefas. Ainda permite adicionar arquivos, listas de verificação ou até mesmo usar automação, ou seja, personalizar tudo de acordo com a forma como a equipa funciona melhor.

como núcleo da solução, uma vez que providencia uma *RESTful* API que se liga diretamente a um banco de armazenamento de dados, SQLite. O FE, tal como referido anteriormente, é construído através da utilização de *Angular*, HTML e CSS. Estas escolhas foram feitas devido ao poder de criação de interfaces de utilizador que o Angular fornece, mas também pela facilidade de aprendizagem da mesma. A Figura 14 apresenta um esquema do design da solução pretendida.

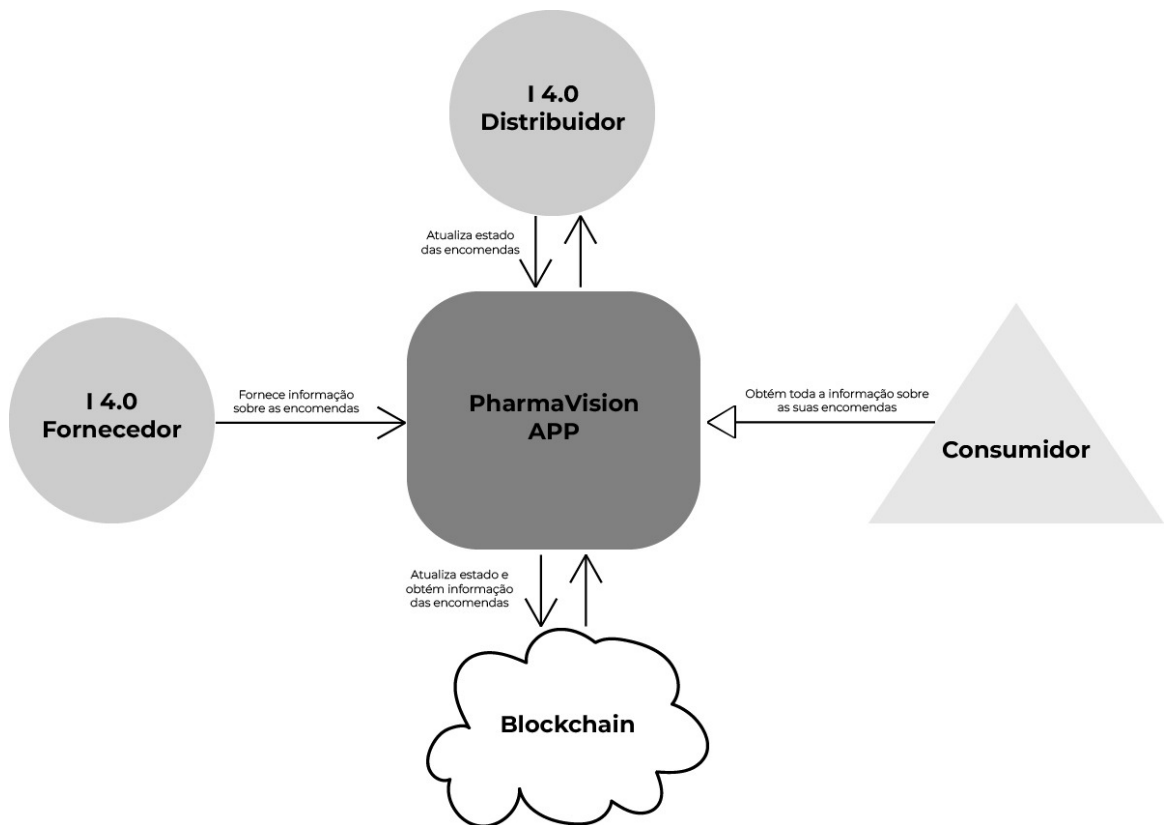


Figura 14 - Design da solução

4.3 Arquitetura da base de dados

Nesta solução, como referido anteriormente, foi utilizado SQLite como banco de armazenamento de dados por variadas razões, sendo elas: o facto da *Blockchain* apoiar o armazenamento de dados tendo também ela alguns retidos e o facto de SQLite apresentar uma

natureza independente, rápida, leve e de rápida confiabilidade. A Figura 15 representa a estrutura da base de dados desenvolvida, sendo de seguida descrita mais detalhadamente.

As *Orders* são o elemento de maior importância uma vez que representam as encomendas dos fármacos comprados pelos clientes aos fornecedores. Esta é constituída por identificador único, código de encomenda, cliente, fornecedor, transportadora, conjunto de fármacos, armazém, data de criação e estimativa da data de entrega, estado atual e, por fim, pelo *hash* de transação (que será fundamental para a relação entre base de dados e *Blockchain*).

De seguida, está representado os *Users*, onde irá ser guardada a informação relativa a cada utilizador registado na plataforma, a informação para contacto caso seja necessário do utilizador e por fim o tipo de utilizador.

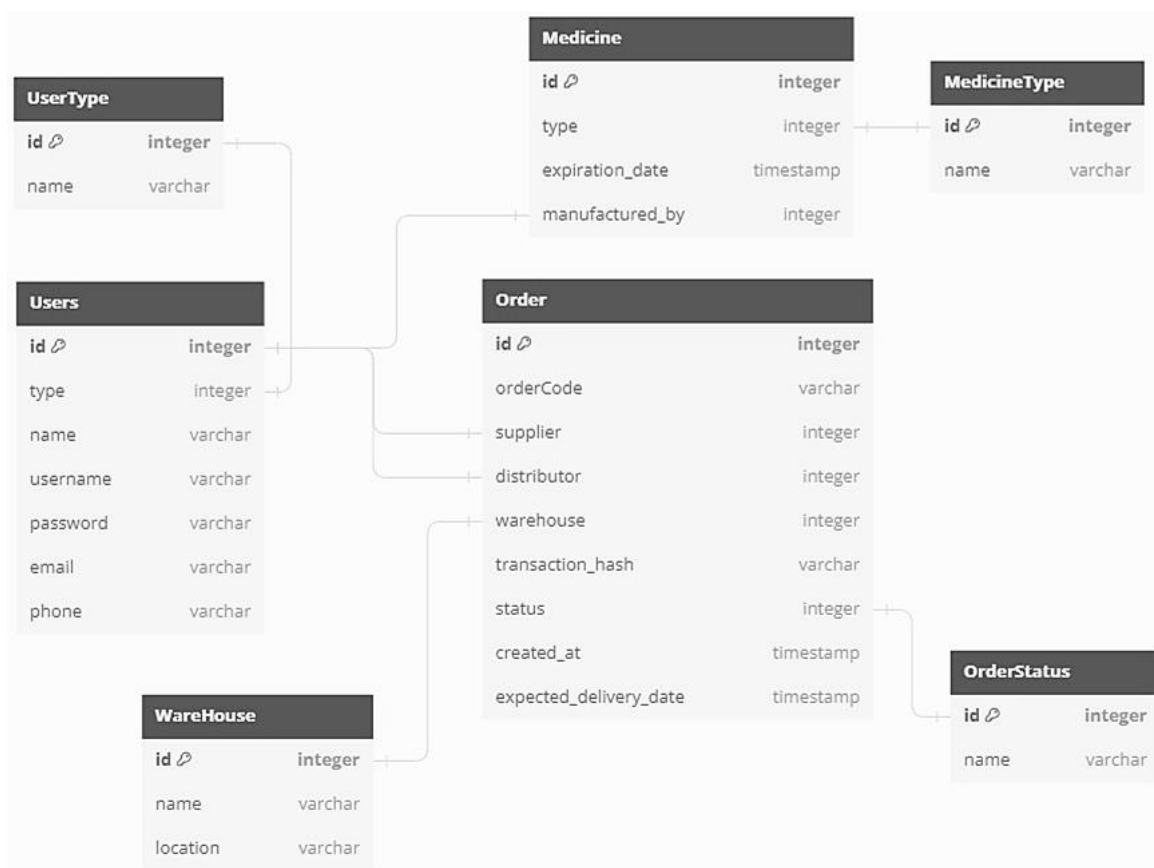


Figura 15 - Arquitetura da base de dados da Aplicação *PharmaVision*

4.4 Controlo de encomendas

O ciclo de vida de uma encomenda começa no sistema do fornecedor. A *PharmaVision* regista a encomenda após o envio da informação por parte do fornecedor. Aquando da entrada desta informação a *PharmaVision* responsabiliza-se por carregá-la sob a forma de *metadata* para a *Blockchain Cardano* onde poderá ser consultada por qualquer visitante da plataforma. Quanto ao distribuidor, este também poderá ter acesso às informações da encomenda, no entanto, terá de se candidatar a transportar a encomenda, a não ser que já exista acordo prévio com o fornecedor. O sistema do distribuidor estará conectado ao sistema da *PharmaVision* transmitindo atualizações sobre o estado atual da encomenda, sendo que estas atualizações irão ser atualizadas na *metadata* da *Blockchain*. Este processo será efetuado repetidamente até à entrega da encomenda ao consumidor final.

4.5 Interface do utilizador

Como referido anteriormente, o desenvolvimento da interface do utilizador foi executado através da utilização de *Angular* com HTML e CSS, com o intuito de criar uma interface elegante e responsiva. A Figura 16 representa a *homepage* da aplicação criada, apresentando a navegação habitual e a secção de pesquisa de encomenda. Esta última secção foi estrategicamente colocada na *homepage* de modo a aumentar a acessibilidade da aplicação.

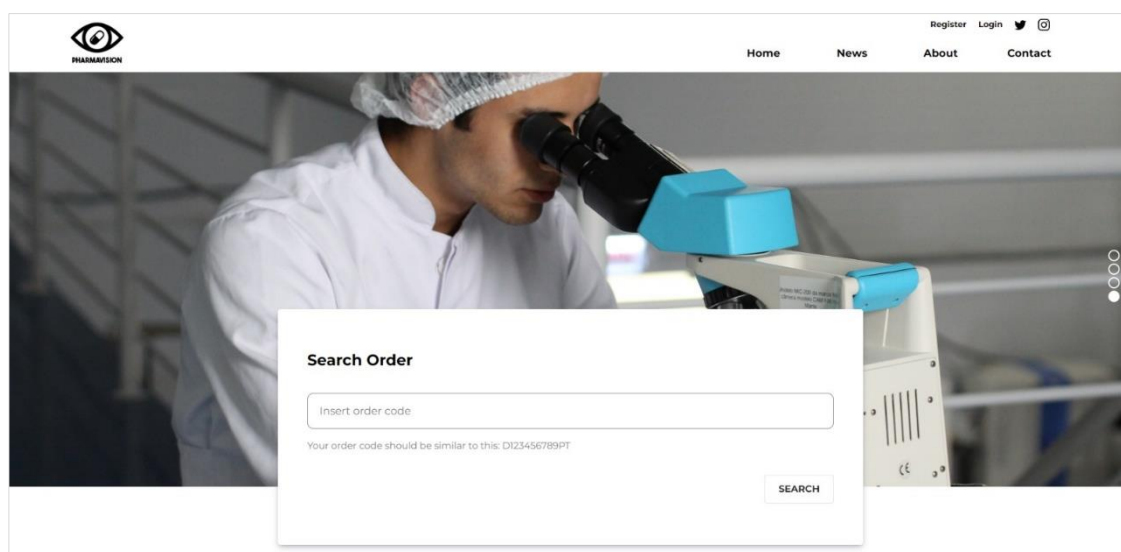


Figura 16 – *Homepage* da Aplicação *PharmaVision*

A Figura 17 representa o logótipo da *PharmaVision*. O conceito do seu design baseou-se nos principais princípios da aplicação, isto é, na necessidade de uma maior transparência e na necessidade de ver todos os detalhes durante a distribuição de fármacos, tendo sido criada uma analogia com o olho humano. No interior do logótipo, substituindo a íris do olho, encontra-se um comprimido que foca o produto final, os fármacos.



Figura 17 - Logótipo da Aplicação *PharmaVision*

Toda a interface do utilizador foi pensada para criar uma ligação entre o mundo real e a *Blockchain*, permitindo aos utilizadores ultrapassar a necessidade de aprender a trabalhar diretamente na *Blockchain*. Desta forma, a *PharmaVision* foi concebida de maneira a manter o padrão de utilização da maioria dos *websites* atuais.

4.6 Funcionalidades da implementação

Nesta subsecção serão explicadas detalhadamente as principais funcionalidades da aplicação *PharmaVision*. Esta explicação consiste em demonstrar todo o processo de criação de cada funcionalidade e de que forma funciona.

4.6.1 Procurar informações da encomenda

Como referido anteriormente, o local de pesquisa da cada encomenda encontra-se na *homepage*, onde cada procura poderá ser realizada através do código da encomenda.

A informação de cada encomenda é recebida pela *PharmaVision* através do sistema do fornecedor, incluindo o código da encomenda, o cliente, o distribuidor, etc. Após o registo desta informação no sistema, a *PharmaVision* responsabiliza-se por colocar a informação na

Blockchain. A Figura 18 representa a informação a que o cliente da respetiva encomenda tem à sua disposição (o código da encomenda será enviado previamente através de e-mail para o cliente).

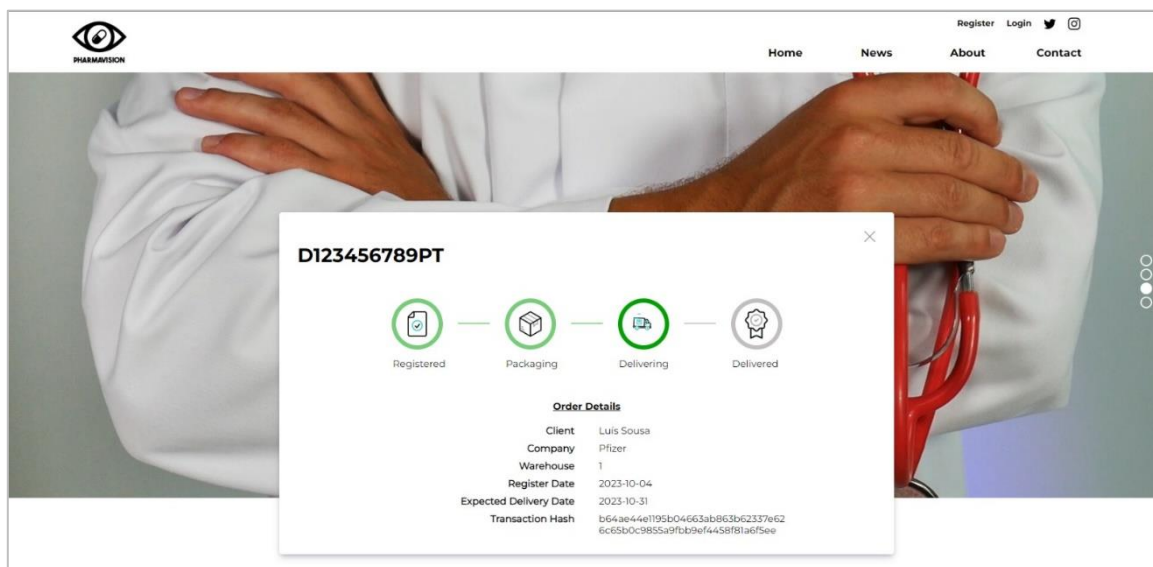


Figura 18 - Pesquisa da encomenda na aplicação *PharmaVision*

O Excerto de Código 1 é o código que fornece a informação para a página mostrar ao utilizador. É feita uma filtragem inicial na base de dados SQLite da aplicação para confirmar que a encomenda existe e qual a *hash* de transação gerada aquando do *mint* para a *Blockchain*. Com estes dados a *PharmaVision* faz uma pesquisa na *Blockchain* pela encomenda de forma a obter toda a sua informação e devolver ao FE.

```
@api_view(['GET'])
def getOrderByCode(request, orderCode):
    local_order = Order.objects.filter(orderCode=orderCode).first()
    order = GetOrderInfoFromBlockchain(local_order.transaction_hash)
    serializer = OrdersSerializer(order, many=False)

    return Response(serializer.data)
```

Excerto de Código 1- Método para obter a informação da encomenda

4.6.2 Criar Conta

A Figura 19 demonstra a página do formulário de criação de uma conta na *PharmaVision* e esta funcionalidade é destinada apenas para fornecedores e distribuidores. Apesar de qualquer utilizador conseguir aceder a este ecrã, a conta pode não ser válida caso a empresa, durante o processo de validação, não confirme todas as informações.

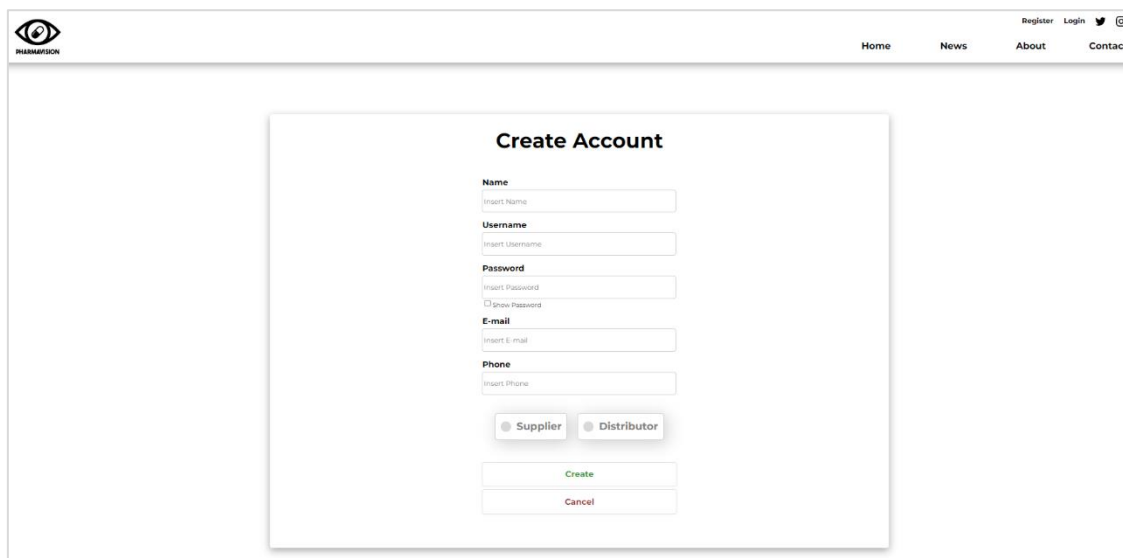


Figura 19 - Página de criação de conta

O Excerto de Código 2 é o código que trata a criação de utilizadores da plataforma. Este código recebe as respostas do formulário de criação da conta e guarda na base de dados SQLite a informação do utilizador para que consiga posteriormente entrar na plataforma. Por fim, o Excerto de Código 3 demonstra como é feita a validação para entrar na plataforma e ter acesso a novas funcionalidades exclusivas para este tipo de utilizadores.

```
@api_view(['POST'])
def postUser(request):
    user_data = JSONParser().parse(request)
    serializer = UsersSerializer(data=user_data)
    if serializer.is_valid(raise_exception=True):
        serializer.save()
    return Response(serializer.data)
```

Excerto de Código 2 - Criação de utilizador no sistema da PharmaVision

```

@api_view(['GET'])
def getUser(request):
    user = Users.objects.filter(username=request.GET.get("username")).first()
    if user is not None:
        decrypted_password = shift_characters_back(request.GET.get("password"))
        if user.password == decrypted_password:
            serializer = UsersSerializer(user, many=False)

    return Response(serializer.data)

```

Excerto de Código 3 - Validação de login na plataforma

4.6.3 Obter estatísticas sobre as encomendas

A Figura 20 é a representação da página de estatísticas apenas acessível para os fornecedores. Com a informação disponível os fornecedores poderão ter uma visão macro sobre o seu negócio, mais especificamente sobre a distribuição dos fármacos que produzem.

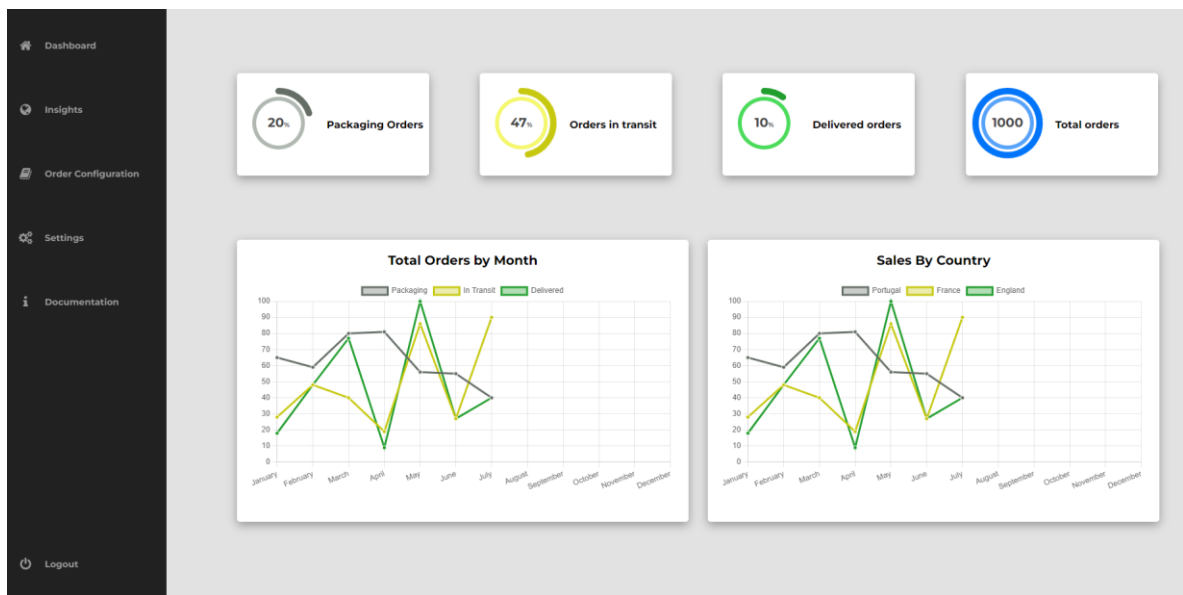


Figura 20 - Página de estatísticas disponível para os fornecedores

4.6.4 Criar encomendas

A criação de encomendas não é da responsabilidade da *PharmaVision*, no entanto esta responsabiliza-se pelo carregamento da informação da encomenda para a *Blockchain*, permitindo a imutabilidade dos dados da mesma, o que confere uma maior segurança e transparência. Sendo assim, o registo das encomendas será feito através da receção da informação vinda da API do fornecedor (Excerto de Código 4), ou seja, o sistema do fornecedor terá de enviar, aquando da compra, a informação da nova encomenda para o sistema da *PharmaVision*. Este processo é demonstrado na Figura 14, já explicado anteriormente.

```
@api_view(['POST'])
def postOrder(request):
    order_data = JSONParser().parse(request)
    blockchainOrder = MintOrderInfoToBlockchain(tx, order_data)
    serializer = OrdersSerializer(data=blockchainOrder)
    if serializer.is_valid(raise_exception=True):
        serializer.save()
    return Response(serializer.data)
```

Excerto de Código 4 - Método que recebe a informação da API do fornecedor

5 Avaliação e Experimentação

Neste capítulo é realizada uma análise geral do processo de avaliação, identificando a hipótese a ser testada, as métricas de avaliação que irão ser utilizadas e, por fim, a metodologia de avaliação que irá ser utilizada.

5.1 Hipótese de Investigação

Uma hipótese de investigação é algo especulativo que é aceite, provisoriamente, como ponto de partida para uma investigação, tendo sempre em conta os objetivos pretendidos.

O objetivo principal desta dissertação é o desenvolvimento de um sistema seguro com base nas características da *Blockchain* que consiga diminuir os problemas mais incidentes na indústria farmacêutica, isto é, a falsificação de fármacos e a má gestão da cadeia de distribuição atual. A solução deve ter em conta a utilização deste sistema sem recorrer a grandes recursos humanos e com o mínimo de custos possível, tendo sempre em vista a obtenção de um processo mais automatizado, uma maior facilidade na procura de dados, uma correta distribuição de fármacos e uma diminuição do problema de falsificação e furto.

Desta forma, tendo por base o objetivo principal deste estudo, surge a questão de investigação “Como combater a falsificação de fármacos e melhorar a cadeia de distribuição atual?”, que juntamente com as necessidades atuais do mercado permite formular a hipótese desta dissertação: “É possível melhorar a organização e segurança nos processos de distribuição

de fármacos acompanhando o ciclo de vida do produto de forma mais sustentável, escalável e flexível?”.

5.2 Indicadores e fontes de informação

Para o aumento da segurança nos processos de produção e distribuição dos fármacos será necessário realizar uma comparação do número de fármacos produzidos com o número de fármacos entregues com sucesso, tendo por base o registo de diferentes dados durante todo este processo. De seguida, será preciso comprovar a sustentabilidade, escalabilidade e flexibilidade da solução.

Em termos de sustentabilidade é fundamental testar o algoritmo PoS realizando a validação das transações e dos blocos da *Blockchain Cardano*. Neste cenário existem duas métricas: o sucesso da operação e o tempo necessário para a validação.

Quanto à escalabilidade será necessário realizar testes de carga e desempenho com grandes níveis de tráfego, sendo essencial realizar estes testes em diferentes cenários. Com isto, serão avaliadas pelo menos duas métricas: o tempo de resposta e a taxa de erro.

Por fim, para testar a flexibilidade da solução seria necessário realizar uma transação com outra *Blockchain* ou com um sistema de gestão de stocks, sendo apenas necessário o sucesso da transação para provar a flexibilidade.

5.3 Metodologia de Avaliação

A metodologia de avaliação utilizada para a solução desta dissertação foi realizada através do *QEF* (Tabela 4, 5 e 6). O *QEF* é um modelo que “poderá ser aplicado, genericamente, no desenvolvimento de qualquer plataforma de sistemas educacionais, no sentido de validar e avaliar, durante o seu ciclo de desenvolvimento, qualquer fase da sua construção, permitindo detetar e corrigir, precocemente, as falhas que eventualmente vão ocorrendo” (Escudeiro & Bidarra, 2008).

Relacionando este modelo com a solução, foi criado um QEF que apresenta diferentes requisitos inseridos em diferentes dimensões. Nestes requisitos estão inseridas diferentes métricas quantitativas para gerar uma classificação do mesmo (Escudeiro & Bidarra, 2008).

Por fim, é obtido um valor resultante após uma série de cálculos característicos do QEF, incluindo o peso do fator, o peso do requisito e da percentagem de cumprimento desse mesmo requisito. No final, a soma de todos os valores dos requisitos dará um valor final da solução, tendo 100 como limite máximo (Escudeiro & Bidarra, 2008).

Tabela 4 - Dimensão da Adaptabilidade do QEF representativo da solução

rw_{jk}	Requisitos	$wf_k \%$
8	AV01 - Pode ser acedido por diferentes dispositivos	100
2	AV02 - Website possibilita alguma configuração	100
8	AM01 - Programação do website permite a adição de novas funcionalidades	0

Tabela 5 – Dimensão da Eficiência do QEF representativo da solução

rw_{jk}	Requisitos	$wf_k \%$
10	EN01 - Produto possui boa estrutura e permite ao usuário aceder a conteúdos de forma intuitiva até as principais funções	100
10	EN02 - A interface do usuário do aplicativo é rápida e responsiva, com animações e informações de progresso	100
6	EN03 - O tempo de execução da aplicação não apresenta erros e erros inesperados devem ser bem tratados	100
8	EN04 - O sistema de navegação coloca os usuários no controle	100

Tabela 6 - Dimensão Funcional do QEF representativo da solução

<i>rw_{jk}</i>	Requisitos	wf_k %
10	FF01 - Obter informação da encomenda	50
10	FF02 - Receber encomendas do fornecedor	50
10	FF03 - Receber atualizações da encomenda do distribuidor	50
6	FF04 - Obter estatísticas sobre as encomendas	50
8	FF05 - Criar conta na plataforma	100
10	FF06 - Mostrar informações da encomenda aos visitantes	50
10	FF07 - Utilizadores consegue usar o portal	100
10	FUI01 - Website é intuitivo	50
10	FUI02 - Website apresenta a mesma experiência de design	100
8	FUI03 - É garantido o feedback das ações do utilizador	100
6	FUI04 - Website é responsivo	50
8	FUI05 - As funcionalidades são filtradas por tipo de utilizador	50
10	FPQ01 - A informação das encomendas está bem organizada	100
6	FPQ02 - As estatísticas são apresentadas de forma organizada e perceptível	50
8	FPQ03 - Todas as mensagens apresentadas são de fácil compreensão	100
10	FPQ04 - Todos os conteúdos são relacionados com o produto e o setor que ele se insere	100
10	FPQ05 - Compreensível para quem não entende nada sobre Blockchain	100

5.4 Testes e Resultados

Para receber algum tipo de feedback e testar as funcionalidades implementadas, foi desenvolvido um questionário com várias métricas relacionadas com a aplicação construída. Os resultados às questões mais significativas podem ser verificados nas seguintes figuras apresentadas.

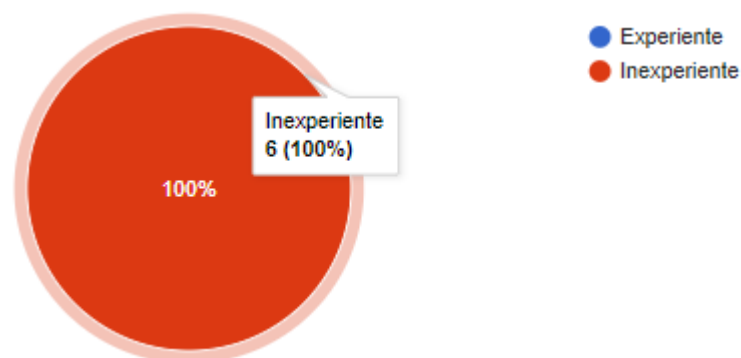


Figura 21 - Gráfico de resultados da questão tipo de participante

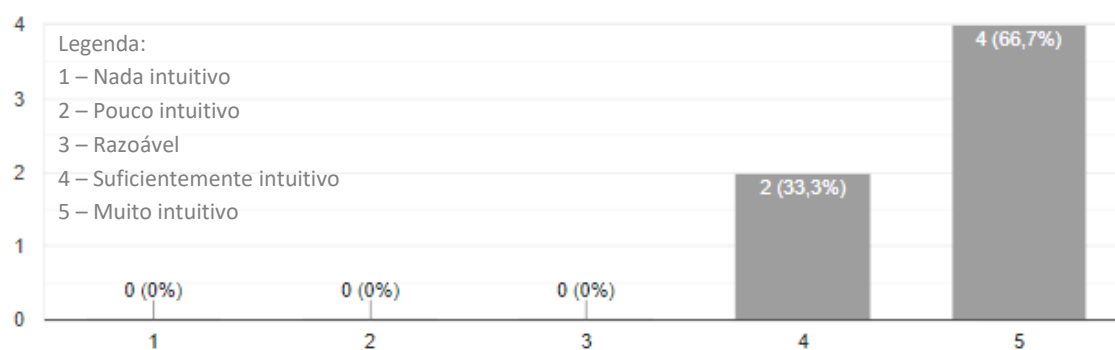


Figura 23 – Gráfico relativo ao quão intuitivo é o website

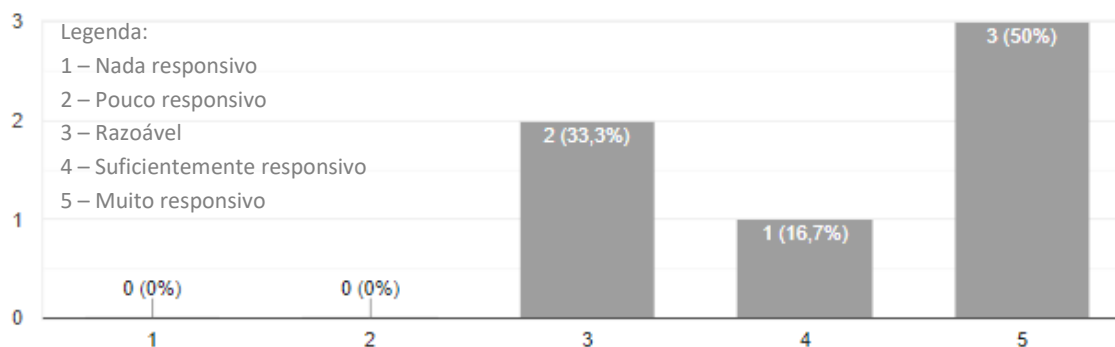


Figura 22 – Gráfico relativo à responsividade do website

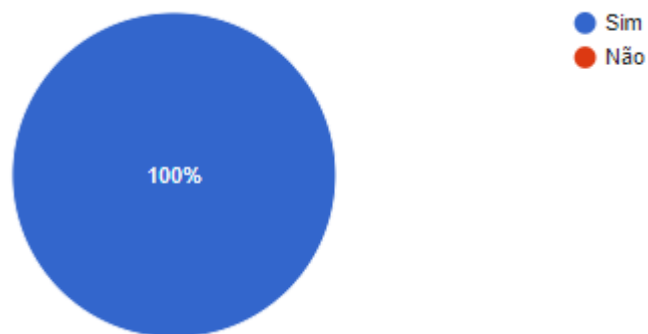


Figura 24 - Gráfico relativo ao resultado se conseguiu procurar pelas informações da encomenda

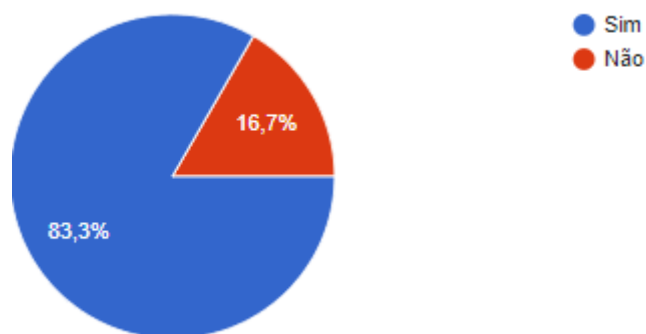


Figura 25 - Gráfico relativo ao resultado se conseguiu procurar pelas informações da encomenda atualizada

Analisando os resultados obtidos, dá para observar uma estimativa da opinião do consumidor final, visto que nenhum participante se identificou como experiente. No entanto, este fator é algo bom para os testes da solução criada, uma vez que o público-alvo da *PharmaVision* são os utilizadores que não têm conhecimento sobre este meio, ou seja, o objetivo de criar uma experiência abstrata para disfarçar o uso da *Blockchain* será intensamente avaliado. Com isto, através dos dados recolhidos foi possível concluir que a aplicação criada foi bem recebida pelos participantes com um *feedback* positivo sobre as funcionalidades atualmente disponíveis.

6 Conclusão

A última secção desta dissertação serve para demonstrar as principais limitações sentidas ao longo da realização deste projeto e as possíveis melhorias que poderiam ter sido aplicadas. Além disso, serão abordados os próximos passos e trabalho futuro que poderá ser desenvolvido na área da indústria farmacêutica, tendo em conta as ferramentas oferecidas pela I4.0. Por fim, é realizada uma apreciação global do trabalho realizado.

6.1 Limitações e Melhorias

A solução criada para esta dissertação apresenta algumas limitações que podem influenciar o desempenho e o resultado final. Estas limitações podem ser divididas em limitações externas ou internas, sendo que a maioria estão inseridas nas externas.

De acordo com o desenho da solução, o sistema da *PharmaVision* está dependente do sistema do fornecedor para conseguir registar encomendas e guardá-las na *Blockchain*, e do sistema do distribuidor, para atualizar o estado da encomenda durante as suas diferentes fases e localização atual dela, sendo esta a principal limitação deste projeto.

Uma das características referidas nesta dissertação é a possibilidade de fazer a verificação da encomenda em tempo real e é nesta funcionalidade que se origina a segunda limitação, pois esta verificação pode ser influenciada tanto pela sobrecarga do sistema do distribuidor, que pode não conseguir enviar a informação atempadamente, ou pela *Blockchain* que estando sobrecarregada não consegue fazer a atualização de dados em tempo real.

Outra limitação presente nesta solução é o facto de as entidades inseridas no setor farmacêutico terem de aderir à I4.0 e à aplicação da *Blockchain* nos seus sistemas. Estas alterações têm um elevado custo e os benefícios que trazem podem não ser suficientes tendo em conta o investimento necessário aos olhos destas entidades.

Por fim, a solução apresentada necessitaria no futuro de uma reformulação de forma a ter um sistema mais independente, para diminuir o número de limitações e dependências que apresenta.

6.2 Trabalho futuro

A solução apresentada nesta dissertação demonstra grandes vantagens na sua implementação no setor farmacêutico atual. No entanto, acaba por ser apenas um protótipo para demonstrar o seu potencial, uma vez que seria necessário continuar o desenvolvimento das funcionalidades estipuladas para o sistema.

Com isto, o primeiro passo passaria por criar uma versão comercializada para testar no ambiente atual e receber *feedback* para melhoramentos da mesma. Dado ao setor em que a solução está inserida ser um setor frágil, é crucial que o risco de ocorrer um erro seja o menor possível pois poderá ter um grande impacto negativo.

Adicionalmente, e como abordado nas limitações, seria necessário a evolução da solução para um sistema mais independente para dar uma melhor experiência a todos os utilizadores da plataforma.

Por conseguinte, e com uma solução mais madura e estabelecida, o plano futuro passava por inserir o número máximo de entidades do setor farmacêutico no ecossistema, uma vez que quanto maior o número de entidades, mais conexão e informação irá fluir, o que irá dar origem a um setor mais organizado e seguro.

6.3 Apreciação global

Esta dissertação de mestrado focou-se no propósito da criação de um protótipo que demonstra as vantagens da implementação da *Blockchain* na I4.0, mais concretamente no setor farmacêutico. Para cumprir este objetivo foi necessário investigar sobre a *Blockchain* e a I4.0 para encontrar as suas vantagens, as possíveis desvantagens e, acima de tudo, perceber que melhorias apresentam em relação às tecnologias já existentes.

O resultado desta investigação comprovou o objetivo desta dissertação, que realmente existem vantagens na utilização da *Blockchain*, no entanto, ainda não se encontra adaptada para os utilizadores que não estão totalmente envolvidos no ambiente tecnológico. Com isto, o design do protótipo foi pensado para anular esta necessidade de conhecimento por parte dos utilizadores e assim manter uma experiência de utilização o mais parecida possível aos *websites* atuais. Mesmo com estes problemas de utilização da *Blockchain*, os benefícios que apresenta no setor farmacêutico como por exemplo, a imutabilidade e a transparência, são demasiado importantes para não optar por esta implementação.

Durante o design e implementação da solução também foi notória a necessidade de considerar alguns fatores importantes para o melhor desempenho possível desta solução. Para começar, será fundamental atrair o maior número de organizações associadas ao setor farmacêutico para a utilização desta solução. Esta medida fará com que a segurança e transparência neste setor aumente quanto maior for o número de organizações a utilizar esta solução. O objetivo final passa por haver um controlo total do tráfego de fármacos no setor inteiro. Por fim, será necessário haver uma distribuição de responsabilidades para que o sistema se torne o mais descentralizado possível.

Em suma, esta dissertação permitiu adquirir conhecimento sobre *Blockchain* e I4.0 e o contexto em que estão inseridos, mais concretamente o seu funcionamento, as suas vantagens, desvantagens e tecnologias alternativas. Com este conhecimento, foi possível criar uma solução que pode vir a ter impacto no mundo atual, não só ajudando o setor farmacêutico, mas também a prevenir mortes humanas por falsificação de fármacos.

No geral, esta dissertação demonstra o potencial da combinação destas tecnologias para melhorar a segurança, transparência, experiência de utilizador e controlo na indústria farmacêutica.

Referências

- Academy, U. (2023). *What is Figma and its Advantages?* Retrieved 12 de outubro from <https://myuxacademy.com/what-is-figma/>
- Aoun, A., Ilinca, A., Ghandour, M., & Ibrahim, H. (2021). A review of Industry 4.0 characteristics and challenges, with potential improvements using blockchain technology. *Computers & Industrial Engineering*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107746>
- Badertscher, C., Gazi, P., Kiayias, A., Russell, A., & Zikas, V. (2019). Ouroboros chronos: Permissionless clock synchronization via proof-of-stake. *Cryptology ePrint Archive*.
- Belliveau, P., Griffin, A., & Somermeyer, S. (2004). *The PDMA ToolBook 1 for New Product Development*. Wiley. <https://books.google.pt/books?id=kqX5EvT2U8AC>
- Brooks, C. (2022). *Alarming Cyber Statistics For Mid-Year 2022 That You Need To Know*. Forbes. Retrieved February from <https://www.forbes.com/sites/chuckbrooks/2022/06/03/alarming-cyber-statistics-for-mid-year-2022-that-you-need-to-know/?sh=3f2c838e7864&fbclid=IwAR3SHF1ljVOF2XpSNUAIHmoPSy5Xn11ZKWePyZvW2zACM5Av5jMce3vZXXQ>
- Built For The Community By The Community*. Retrieved February from <https://cardano.org/governance/>
- Cardano. (2023). *Cardano*. Retrieved February from https://cardano.org/?fbclid=IwAR1zdyY1vbpy2WqOPjY4ivzVa9pbKgEBaZ9JOIC9UgCRHRS_8DVxfwpOcDo
- Cardano, W. (2020). *Formal Specification And Verification*. Retrieved February from <https://why.cardano.org/en/science-and-engineering/formal-specification-and-verification/>
- Da Costa, M. B., Dos Santos, L. M. A. L., Schaefer, J. L., Baierle, I. C., & Nara, E. O. B. (2019). Industry 4.0 technologies basic network identification. *Scientometrics*, 121(2), 977-994. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03216-7>
- El Ioini, N., & Pahl, C. (2018). *A Review of Distributed Ledger Technologies*.

Escudeiro, P., & Bidarra, J. (2008, 01/01). Quantitative Evaluation Framework (QEF). *Conselho Editorial/Consejo Editorial*, 16.

Ethereum. (2023). *What is Ethereum?* Retrieved February from <https://ethereum.org/en/what-is-ethereum/?fbclid=IwAR3h-LYerEwD5x7Zx2B8ThtPI9cxvuOzhdIMtqB0DGwltqkpiWCrwHr3FR4>

IBM. (2020). *What is blockchain technology?* . IBM. Retrieved June from <https://www.ibm.com/topics/blockchain>

INFARMED. (2023). *"Operações de fiscalização"*. Retrieved January, 2023 from <https://www.infarmed.pt/web/infarmed/entidades/licenciamentos/inspecao/operacoes-de-fiscalizacao>

Irakoze, I. (2023). *Cardano Working Groups: how to get involved*. Retrieved February from <https://iohk.io/en/blog/posts/2023/02/03/cardano-working-groups-how-to-get-involved/>

Javaid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R., Khan, S., & Suman, R. (2021). Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review. *Blockchain: Research and Applications*, 2(4). <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100027>

Kayikci, Y., Subramanian, N., Dora, M., & Bhatia, M. S. (2022, 2022/02/17). Food supply chain in the era of Industry 4.0: blockchain technology implementation opportunities and impediments from the perspective of people, process, performance, and technology. *Production Planning & Control*, 33(2-3), 301-321. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810757>

Kiayias, A., Russell, A., David, B., & Oliynykov, R. (2016). Ouroboros: A provably secure proof-of-stake blockchain protocol. *Cryptology ePrint Archive*.

Koen, P. A., Ajamian, G. M., Boyce, S., Clamen, A., Fisher, E., Fountoulakis, S., Johnson, A., Puri, P., & Seibert, R. (2002). Fuzzy front end: effective methods, tools, and techniques. *The PDMA toolbox 1 for new product development*.

Lu, Y. (2019). Artificial intelligence: a survey on evolution, models, applications and future trends. *Journal of Management Analytics*, 6(1), 1-29.

Mackey, T. K., Liang, B. A., York, P., & Kubic, T. (2015, Jun). Counterfeit drug penetration into global legitimate medicine supply chains: a global assessment. *Am J Trop Med Hyg*, 92(6 Suppl), 59-67. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.14-0389>

- Matindale, J. (2019). *What is augmented reality?* Digitaltrends. Retrieved February, 2023 from https://www.digitaltrends.com/computing/what-is-augmented-reality/?fbclid=IwAR3rNYA4B4f8JIRtBeXeCLKXXGFikQCjxIMQxF1Hu_KN7WOibsdxepEK100
- Matozinhos, I. P., Madureira, A. A. C., Silva, G. F., de Castro Madeira, G. C., Oliveira, I. F. A., & Corrêa, C. R. (2017). Impressão 3D: Inovações no campo da medicina. *Revista Interdisciplinar Ciências Médicas*, 1(1), 143-162.
- MediLedger. (2021). *MediLedger*. Retrieved February from <https://www.mediledger.com>
- Mohamed, M. (2018). *Challenges and Benefits of Industry 4.0: an overview* (Vol. 5). Kharazmi University. <https://doi.org/10.22034/2018.3.7>
- Müller, M., Müller, T., Ashtari Talkhestani, B., Marks, P., Jazdi, N., & Weyrich, M. (2021). Industrial autonomous systems: a survey on definitions, characteristics and abilities. *at - Automatisierungstechnik*, 69(1), 3-13. <https://doi.org/10.1515/auto-2020-0131>
- Organization, W. H. (2023). *WHO urges action to protect children from contaminated medicines*. Retrieved 27 January from <https://www.who.int/news/item/23-01-2023-who-urges-action-to-protect-children-from-contaminated-medicines>
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., Bernarda, G., Smith, A., & Papadacos, T. (2015). *Value Proposition Design: How to Create Products and Services Customers Want*. Wiley. <https://books.google.pt/books?id=jgu5BAAAQBAJ>
- Patel, D., Bothra, J., & Patel, V. (2017, 29 Jan.-1 Feb. 2017). Blockchain exhumed. 2017 ISEA Asia Security and Privacy (ISEASP),
- Paul, P., Aithal, P., Saavedra, R., & Ghosh, S. (2021). Blockchain Technology and its Types—A Short Review. *International Journal of Applied Science and Engineering (IJASE)*, 9(2), 189-200.
- Pierro, M. D. (2017, 01 September). What is the Blockchain? *Computing in Science & Engineering*, 19(5), 92-95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2017.3421554>
- Puthal, D., Malik, N., Mohanty, S. P., Kougianos, E., & Yang, C. (2018). The Blockchain as a Decentralized Security Framework [Future Directions]. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7(2), 18-21. <https://doi.org/10.1109/mce.2017.2776459>

- Rahman, Z., Yi, X., & Khalil, I. (2022). Blockchain based AI-enabled Industry 4.0 CPS Protection against Advanced Persistent Threat. *IEEE Internet of Things Journal*, 1-1. <https://doi.org/10.1109/jiot.2022.3147186>
- Rebala, G., Ravi, A., & Churiwala, S. (2019). Machine Learning Definition and Basics. In *An Introduction to Machine Learning* (pp. 1-17). https://doi.org/10.1007/978-3-030-15729-6_1
- Sang, G. M., Xu, L., de Vrieze, P., Bai, Y., & Pan, F. (2020). *Predictive Maintenance in Industry 4.0* Proceedings of the 10th International Conference on Information Systems and Technologies,
- Schueffel, P. (2017). Alternative distributed ledger technologies Blockchain vs. Tangle vs. Hashgraph-A high-level overview and comparison. *Tangle vs. Hashgraph-A High-Level Overview and Comparison (December 15, 2017)*.
- Sheth, H., & Dattani, J. (2019). Overview of blockchain technology. *Asian Journal For Convergence In Technology (AJCT) ISSN-2350-1146*.
- Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Espôsto, K. F., Vergara, A. M. C., Vassolo, R., Mendoza, D. T., & Narayanamurthy, G. (2020). Effects of contingencies on healthcare 4.0 technologies adoption and barriers in emerging economies. *Technological Forecasting and Social Change*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120048>
- Trello, A. (2023). *Trello makes it easier for teams to manage projects and tasks*. Retrieved 12 de outubro from <https://trello.com/tour>
- Wan, J., Tang, S., Li, D., Imran, M., Zhang, C., Liu, C., & Pang, Z. (2019). Reconfigurable Smart Factory for Drug Packing in Healthcare Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(1), 507-516. <https://doi.org/10.1109/tii.2018.2843811>
- Williams, T. (2022, 17 December). Alternatives To Blockchain For Different Sectors. *The Knowledge Academy*. <https://www.theknowledgeacademy.com/blog/alternatives-to-blockchain/>
- Worley, C., & Skjellum, A. (2018). *Blockchain Tradeoffs and Challenges for Current and Emerging Applications: Generalization, Fragmentation, Sidechains, and Scalability* 2018 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData),

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23.
<https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100224>