



***Blockchain* na Saúde**
Desafios e Oportunidades com Foco na Neurorradiologia
Orientações para Portugal

Dissertação de Mestrado para Obtenção do Grau de Mestre em Estratégia de
Investimento e Internacionalização

Autor:

Isabel Maria Monteiro Barbosa Moreira Cravo

Orientador:

Professor Doutor Carlos Panzo

ISG, Lisboa 2025

RESUMO

O setor de saúde tem-se modernizado com a introdução de tecnologias digitais.

A tecnologia *blockchain* (BCT) viabiliza a construção de uma rede distribuída descentralizada que pode gerir, armazenar e trocar dados imutáveis de forma segura, controlada pelos utilizadores. Na saúde, a BCT pode facilitar a interoperabilidade e a transmissão de informações, garantindo a autenticidade dos registos médicos e a privacidade dos doentes. As aplicações potenciais em imagiologia médica são a partilha segura de imagens controlada pelos pacientes, a facilitação da investigação multi-institucional e a integração com a inteligência artificial.

Esta investigação tem por objetivo analisar o estado atual da implementação global da tecnologia *blockchain* na área da saúde, em particular na neurroradiologia e a sua importância no contexto da saúde em Portugal. A investigação foi complementada por uma análise comparativa qualitativa de casos transnacionais (Portugal, Reino Unido e Estónia) de modo a identificar boas práticas e modelos de implementação de sistemas de saúde que já integram esta tecnologia, permitindo uma potencial transferência de conhecimento para o contexto nacional. Para além disso, tem igualmente por objetivo discutir as possíveis aplicações da tecnologia de cadeias de blocos na neurroradiologia.

As conclusões deste estudo apontam para vantagens da utilização da *blockchain* na saúde, particularizando na neurroradiologia, salientando-se os aspetos facilitadores e os desafios que esta tecnologia enfrenta numa futura implementação em Portugal.

Palavras-Chave: *blockchain*; saúde; radiologia, neurroradiologia; imagem médica; inteligência artificial; IA; Portugal; Estónia; Reino Unido

ABSTRACT

The healthcare sector has been modernising with the introduction of digital technologies. *Blockchain* technology (BCT) enables the construction of a decentralised distributed network that manages, stores, and exchanges immutable data securely, controlled by users. In healthcare, BCT can facilitate interoperability and information transmission, ensuring the authenticity of medical records and patient privacy. Potential applications in medical imaging include secure patient-controlled image sharing, facilitation of multi-institutional research, and integration with artificial intelligence.

This research aims to analyse the current state of global implementation of *blockchain* technology in healthcare, particularly in neuroradiology, and its importance in the healthcare context in Portugal. The investigation was complemented by a qualitative comparative analysis of transnational cases (Portugal, United Kingdom, and Estonia) in order to identify best practices and implementation models for health systems that already integrate this technology, allowing for a potential transfer of knowledge to the national context.

Furthermore, it also aims to discuss the potential applications of *blockchain* technology in neuroradiology.

The conclusions of this study point to the benefits of using blockchain in health care, with a particular focus on neuroradiology, highlighting the facilitating aspects and the challenges that this technology faces in a future implementation in Portugal.

Key-words: *blockchain*; health; radiology, neuroradiology; medical imaging; artificial intelligence; AI; Portugal; Estonia; United Kingdom

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Carlos Panzo, o meu sincero agradecimento pelo tempo despendido e pelas críticas construtivas essenciais ao desenvolvimento deste estudo.

Aos Professores e aos colegas de mestrado, agradeço o apoio disponibilizado.

À minha Família, e em especial ao Francisco, por me ter lembrado nos momentos mais desafiantes, o que é verdadeiramente importante.

Aos amigos Rui e Fernando, agradeço a motivação e inspiração para abraçar esta aventura.

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

AVC	Acidente Vascular Cerebral
BCT	Blockchain
BTC	Bitcoin
CDISC	Clinical Data Interchange Standards Consortium (Consórcio de Padrões de Intercâmbio de Dados Clínicos)
Cloud	Núvem
CNPD	Comissão Nacional de Proteção de Dados
CNS	Conselho Nacional de Saúde
CTDMS	Clinical Trial Data Management System (Serviço de Gestão de Dados de Ensaio Clínicos)
DL	Deep Learning
DLT	Tecnologias de Registo Distribuído
DSE	Dados de Saúde Eletrónicos
EHDS	European Health Data Space (Espaço Europeu de Dados de Saúde ou EEDS)
EHR	Electronic Health Record (Sistema Nacional de Registos de Saúde Eletrónicos)
ETH	Ethereum
EU	União Europeia
EUIPO	Instituto da Propriedade Intelectual da União Europeia
GC	Gestão do Conhecimento
HDP	Health Data Platform (Plataforma de Dados de Saúde)
HIPAA	Health Insurance Portability and Accountability Act

IA	Inteligência Artificial ou AI
IoT	Internet of Things
LLM	Grandes Modelos de Linguagem
MDW	Metadata Warehouse
ML	Machine Learning
NGEU	Next Generation EU
ODM	Operational Data Model (Modelo de Dados Operacionais)
P2P	Rede Peer-to-Peer
PACS	Picture Archiving and Communication System (Sistema de Arquivo e Comunicação de Imagens)
RGPD	Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados
RM	Ressonância Magnética
RNDS	Rede Nacional de Dados de Saúde
RWE	Evidências do Mundo Real
RX	Raios X
SDM	Sistema Dados Mestre (Sistema de Gestão de Dados na Saúde)
SIGIC	Sistema Integrado de Gestão de Inscritos para Cirurgia
SINACC	Sistema Nacional de Acesso a Consultas e Cirurgias
SNS	Serviço Nacional de Saúde
SPMS	Serviços Partilhados do Ministério da Saúde
TC	Tomografia Computorizada
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Controlo de Transmissão)
TI	Tecnologias de Informação
XAI	Explainable Artificial Intelligence (Inteligência Artificial Explicável)

ÍNDICE

Resumo	I
Abstract	II
Agradecimentos	III
Abreviaturas e acrónimos	IV
Índice	VI
1.Introdução.....	1
1.1Contextualização da <i>blockchain</i> na saúde e na neurorradiologia	1
1.2 Problematização.....	2
1.3 Lacuna de investigação e contributo do estudo	3
1.3.1 Estudos Anteriores Sobre os Impactos, Vantagens e Limitações da Adoção desta Tecnologia na Saúde	3
1.3.2 Lacunas de Investigação e contributo do estudo.....	4
1.4 Objetivos da investigação	5
1.4.1 Pergunta de partida.....	5
1.4.2 Justificação da escolha do tema	6
1.5 Descrição da Estrutura da Dissertação.....	6
2. Revisão da Literatura.....	7
2.1 As Novas Tecnologias	7
2.2 O Sistema de Gestão Eletrónica do SNS	12
2.3 Tecnologia Blockchain e seu Funcionamento	14
2.4 Integração <i>Blockchain – IoT</i> (Internet of Things).....	16
2.5 Smart Contracts (Contratos Inteligentes).....	17
2.6 Aplicações em Saúde	20

2.7 Aplicações de Utilização em Neurroradiologia	22
3. Metodologia.....	25
3.1 A Justificação da Escolha Metodológica	25
3.2 A Descrição das Realidades Internacionais Seleccionadas para Comparação	26
3.2.1 Reino Unido	27
3.2.2 Estónia.....	30
3.2.3 Perspectivas comparativas.....	32
3.3 Métodos de Recolha de Dados Qualitativos	33
3.4 Critérios de Análise Comparativa.....	37
3.5 Limitações metodológicas	38
3.6 Considerações Éticas no Estudo de Blockchain e IA em Neurroradiologia.....	39
4. Discussão do Problema.....	42
4.1 Condições Necessárias para a Adoção Bem-sucedida do Blockchain nas Realidades Comparadas	42
4.1.1 Reino Unido	42
4.1.2 Estónia.....	44
4.1.3 Desafios comuns	45
4.2 Situação Atual em Portugal	46
4.2.1 Infraestruturas, políticas e prontidão digital.....	46
4.2.2 Direções futuras.....	53
4.2.3 Exemplos práticos	54
4.3 Pontos Comuns, Diferenças e Lacunas Identificados (Reino Unido, Estónia e Portugal).....	57
4.3.1 Pontos comuns.....	57
4.3.2 Diferenças.....	58
4.3.3 Lacunas identificadas	60

4.4 Barreiras e Facilitadores no Contexto Nacional	64
4.4.1 Barreiras à implementação da blockchain em Saúde em Portugal.....	64
4.4.2 Facilitadores para a implementação da blockchain na saúde em Portugal	66
4.4.3 Contextualização na neurorradiologia em Portugal	69
4.5 Reflexões sobre o potencial da blockchain na transformação da neurorradiologia em Portugal.....	69
4.6 Implicações estratégicas dirigidas a decisores públicos e gestores do SNS	72
5. Conclusão.....	73
Bibliografia.....	79
Apêndice A.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Cloud Computing, Fog Computing and Edge Computing</i>	8
Figura 2 – <i>Estrutura de sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos</i>	11
Figura 3 – <i>Sistemas Centralizados e Descentralizados Peer-to-Peer(P2P)</i>	11
Figura 4 – <i>Princípio da tecnologia da Blockchain</i>	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - <i>Fluxograma de identificação, seleção e inclusão de estudos para a revisão sistemática, de acordo com as diretrizes da declaração PRISMA 2020</i>	35
Tabela 2 - <i>Diferenças da aplicação da blockchain na Estónia, Reino Unido e Portugal</i>	58

1. INTRODUÇÃO

A Tecnologia Blockchain tornou-se familiar para o público devido à sua utilização generalizada nos mercados de cripto moedas (Nakamoto, 2008). Tem encontrado muitas outras aplicações para além das financeiras, encontrando-se em fase de exploração e implementação noutros sectores tais como na governança e sector público, na gestão da cadeia de abastecimento, na indústria (Adwani, 2025), incluindo a marítima (Marques Augusto, 2022) mas também nos cuidados de saúde e na imagiologia médica (McBee & Wilcox, 2020a) (Kotter et al., 2021), onde tem sido utilizada para armazenar de forma segura dados de saúde utilizando uma base de dados criptográfica distribuída onde as informações relacionadas com a criação, atualização ou acesso a dados médicos podem ser armazenadas de forma segura. A Estónia já criou um ecossistema completo de cuidados de saúde baseado em cadeias de blocos no espaço de uma década (Heston, 2017). A Tecnologia Blockchain permite aos utilizadores (pacientes, médicos, radiologistas e cientistas) controlar como e por quem são utilizados os dados relativos aos cuidados de saúde.

A tecnologia blockchain pode ser considerada como uma base de dados distribuída, que regista todas as alterações efetuadas na base de dados. Ao contrário das bases de dados clássicas, a cadeia de blocos utiliza a criptografia para garantir a integridade e a autenticidade dos dados, a transparência, a imutabilidade e a verificabilidade dos dados, a fim de tornar a informação fiável através de uma rede de confiança distribuída, sem a utilização de uma cópia principal central e fiável (McBee & Wilcox, 2020a). Permite rastrear a origem dos dados e saber quem manipulou um determinado conjunto de dados no passado. A cadeia de blocos é potencialmente aplicável ao rastreio de dados radiológicos (Kotter et al., 2021).

1.1 Contextualização da *blockchain* na saúde e na neurorradiologia

Em termos de transparência, proveniência, autenticidade, verificação, proveniência dos dados, propostas, fiabilidade, transparência e segurança, os sistemas atuais de gestão de dados de saúde enfrentam obstáculos significativos (Kuo et al., 2017). Em termos de diagnóstico e cuidados precisos através da partilha segura de informações, a blockchain também está a converter métodos de cuidados tradicionais em métodos mais

fiáveis. De acordo com Kuo et al. (2017) esta tecnologia tem o potencial de contribuir para cuidados de saúde personalizados, autênticos e seguros no futuro, combinando todos os dados relevantes reais de um determinado paciente e exibindo-os num ambiente de saúde moderno e seguro. Em particular, a tecnologia blockchain tem um potencial transformador na área da saúde e na imagiologia médica, que inclui a radiologia e a neurroradiologia (dedicada ao estudo do sistema nervoso central e periférico através de técnicas de imagem como a ressonância magnética e a tomografia computadorizada) ao melhorar a segurança dos dados, a sua interoperabilidade e a confiança no seu processamento.

A tecnologia *Blockchain* é um livro-razão descentralizado e imutável que regista transações numa rede de computadores, garantindo transparência, segurança e rastreabilidade (Haber & Stornetta, 1991) dos dados, contornando questões críticas como silos de dados, preocupações com a privacidade e ineficiências no seu compartilhamento.

Segundo Kotter et al. (2021), a tecnologia blockchain apresenta diversas aplicações fundamentais no setor da saúde, destacando-se inicialmente na gestão segura de dados através do armazenamento de registos eletrónicos de saúde, onde o controlo é mantido pelos pacientes via chaves privadas. Esta tecnologia promove também a interoperabilidade ao facilitar a troca padronizada de informações entre sistemas distintos e assegura a integridade dos dados clínicos mediante registos imutáveis que impedem a adulteração. Adicionalmente, a blockchain aumenta a transparência na cadeia de abastecimento, permitindo o rastreio de dispositivos e fármacos para evitar falsificações, e utiliza contratos inteligentes para automatizar processos complexos, como a gestão de consentimentos ou reclamações de seguros.

1.2 Problematização

No contexto português, apesar da maturidade digital crescente, o sistema de gestão de dados de saúde em 2025 ainda enfrenta barreiras estruturais, marcadas por uma fragmentação persistente onde as bases de dados das Unidades Locais de Saúde (ULS) e dos cuidados primários operam frequentemente em silos isolados. Esta falta de interoperabilidade plena dificulta que o percurso clínico do utente (paciente) seja acompanhado de forma transversal entre diferentes instituições, dificuldade agravada pela ausência de uma estratégia nacional unificada que dite como os dados devem ser

padronizados, partilhados e integrados e de como gerir o volume massivo dos dados gerados (Conselho Nacional de Saúde, 2024).

Sem esta unificação, cada hospital gere os seus dados clínicos, incluindo os exames complementares de diagnóstico, de forma isolada, dificultando por exemplo que um médico neurorradiologista consiga comparar exames do mesmo utente (paciente) se por exemplo o atual exame de imagem tiver sido realizado num Hospital em Lisboa e o exame de imagem anterior tiver sido realizado num Hospital do Porto.

Em Portugal, na atividade clínica da neurorradiologia, estas limitações tornam-se críticas e potencialmente danosas, no que respeita à monitorização de doenças crónicas e das terapêuticas instituídas e aos seus efeitos (por exemplo doenças neurodegenerativas ou oncológicas) dificultando a avaliação comparativa de exames de imagem complexos (como Ressonância Magnética ou Tomografia Computorizada) ao longo do tempo. Quando os sistemas não comunicam, o neurorradiologista não tem acesso ao histórico clínico nem de exames complementares de diagnóstico previamente realizados, elaborando diagnósticos fragmentados, que condicionam repetição desnecessária de exames e a não personalização terapêutica, situações que podem acarretar numa primeira abordagem danos para a saúde dos pacientes e custos desnecessários, que constituem aspetos catalisadores para a ineficiência dos sistemas de saúde e neste caso do português.

Por outro lado a ausência de uma política integrada, padronizada e unificada de dados de saúde incapacita a aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial na prática clínica e de investigação da neurorradiologia, com impactos no diagnóstico precoce e na precisão diagnóstica das doenças neurológicas e dos seus tratamentos (Bathula et al., 2024).

1.3 Lacuna de investigação e contributo do estudo

1.3.1 Estudos Anteriores Sobre os Impactos, Vantagens e Limitações da Adoção desta Tecnologia na Saúde

No Apêndice A, estão resumidos os principais estudos anteriores relevantes sobre os impactos, vantagens e limitações da adoção da tecnologia blockchain na área da saúde, com base na revisão sistemática da literatura efetuada, e resultados de pesquisas

em bases de dados de literatura científica: PubMed¹(PMC) e bibliotecas digitais como a IEEE Xplore² (focada em engenharia eletrotécnica e eletrónica) e a ScienceDirect³, descrita na subsecção 3.3.

No Apêndice A está resumida uma visão geral e comparativa desta temática, seguindo-se um breve texto narrativo para a contextualizar.

1.3.2 Lacunas de Investigação e contributo do estudo

Salientam-se no resumo da literatura acima realizado as lacunas na investigação: muitos estudos são teóricos, com poucas validações empíricas de alta qualidade. A investigação futura deverá concentrar-se em resultados do mundo real, na conformidade regulamentar e na mitigação de riscos como consumo de energia e privacidade de dados.

Exemplos do mundo real são iniciativas como o GovTech da Estónia (e-Estonia, 2025) caracterizadas por um ecossistema avançado de governação digital que utiliza tecnologia para fornecer 99% dos serviços públicos online, com foco em eficiência, transparência e centralidade no utilizador, bem como as soluções de blockchain da IBM mostram aplicações práticas, continuando a escalabilidade⁴ a ser um desafio.

As considerações regulamentares constituem outra lacuna onde a conformidade com regulamentações, como o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD) na União Europeia, com a HIPAA⁵ nos Estados Unidos da América e com outras

¹ O PubMed é a base de dados de literatura biomédica mais importante e utilizada no mundo. Desenvolvida e mantida pelo Centro Nacional de Informações Biotecnológicas (NCBI) da Biblioteca Nacional de Medicina (NLM) dos Estados Unidos, é um recurso gratuito essencial para estudantes e profissionais de saúde.

² A IEEE Xplore é a biblioteca digital do [IEEE](#) (Institute of Electrical and Electronics Engineers), consolidada em 2025 como o repositório líder mundial em Engenharia Eletrotécnica, Eletrónica e Ciência da Computação.

³ A ScienceDirect é uma das maiores bases de dados científicas e bibliotecas virtuais do mundo, operada pela editora [Elsevier](#). É uma plataforma essencial para investigadores, estudantes e profissionais acederem a artigos de revistas com revisão por pares (*peer-reviewed*) e capítulos de livros em áreas como medicina, engenharia e ciências sociais.

⁴ Escalabilidade refere-se à capacidade de um sistema, rede ou tecnologia de lidar com um aumento na carga de trabalho (ex.: mais utilizadores, transações ou dados) sem comprometer o desempenho, a eficiência ou a funcionalidade. Em termos simples, é a habilidade de "crescer" ou se adaptar para atender a procura maiores, seja aumentando a capacidade ou mantendo a atividade com recursos adicionais.

⁵ HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) é uma lei federal dos EUA de 1996 que estabelece padrões nacionais para proteger a privacidade e a segurança das Informações de Saúde Protegidas (PHI), garantindo que as informações médicas dos pacientes sejam confidenciais e não divulgadas sem consentimento, impactando provedores de saúde, planos de saúde e "associados de negócios". Ela dá aos pacientes direitos sobre seus dados e exige controles de segurança para informações eletrónicas (ePHI).

regulamentações vigentes, é fundamental, exigindo uma integração cuidadosa com os sistemas existentes.

Outra lacuna detectada é na integração da blockchain com outras tecnologias como a computação cloud, fog ou edge que possam melhorar a escalabilidade e as aplicações a nível do paciente, como as observadas na monitorização de sinais clínicos baseada na IoT (ver seção 2.1).

Este estudo de análise comparativa transnacional pretende contribuir para a compreensão do estado atual da implementação da tecnologia *blockchain* na área da saúde e na neurroradiologia em Portugal, podendo servir como um guia estratégico para decisores políticos e organizações.

1.4 Objetivos da investigação

O setor de saúde tem aproveitado a introdução de tecnologias digitais. A aplicação da *Blockchain* na saúde possui enorme potencial disruptivo, pois tem a capacidade de prover maior confiabilidade no armazenamento dos registos médicos e diminuição dos riscos de adulteração (Kotter, 2021).

O presente estudo visa analisar a viabilidade e o estado atual da tecnologia *blockchain* no sistema de saúde português e na neurroradiologia, avaliando o seu impacto e relevância estratégica no panorama nacional. Para além disso, tem igualmente por objetivo discutir as potenciais aplicações desta tecnologia na imagiologia médica. Serão identificados os desafios destas aplicações e serão apresentados vários casos de utilização, incluindo a propriedade e o rastreio de imagens, anotações de imagens e potenciais aplicações no que respeita à inteligência artificial. Para compreensão desta investigação, é apresentada uma breve introdução aos conceitos básicos da tecnologia de cadeia de blocos.

1.4.1 Pergunta de partida

Para compreender a atual situação da aplicação da tecnologia Blockchain na área da saúde em Portugal e os quais os potenciais benefícios da sua implementação, formularam-se duas perguntas.

Primeira pergunta: Existem condições em Portugal para a utilização do blockchain na área da saúde?

Segunda pergunta: Quais seriam os benefícios da implementação do blockchain na saúde com foco na neurroradiologia?

1.4.2 Justificação da escolha do tema

A blockchain e as tecnologias de registo distribuído (DLT) serão tecnologias revolucionárias nas próximas décadas. São tecnologias transversais que podem capacitar os cidadãos, os serviços públicos e as empresas para controlar e partilhar o acesso aos dados de forma segura, transparente, verificável e sem intermediários (European Commission, 2019).

Embora a adoção ainda seja incipiente, desafios como escalabilidade, consumo de energia e obstáculos regulatórios devem ser enfrentados. Projetos-piloto, como aqueles que exploram a blockchain para a partilha de dados de imagens médicas (Radiologia, Neurroradiologia e Medicina Nuclear), sugerem um interesse crescente. Na próxima década, a *blockchain* poderá tornar-se a base de ecossistemas de neurroradiologia seguros, eficientes e colaborativos, potenciando a expansão da Inteligência Artificial (IA) e da telemedicina (McBee & Wilcox, 2020a).

1.5 Descrição da Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco Capítulos.

No primeiro Capítulo, contextualiza-se a relevância que a tecnologia *blockchain* tem na área da saúde e na neurroradiologia, e apresenta-se o objetivo desta investigação, justificando a razão da sua escolha.

No segundo Capítulo, comparam-se os sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos e apresentam-se os conceitos da tecnologia do livro de razão, contratos inteligentes e integração da *Blockchain* com a *IoT*. Ainda no Capítulo dois abordam-se as aplicações do blockchain em saúde e em neurroradiologia e procede-se a uma avaliação da literatura científica recente sobre os impactos, vantagens e limitações da adoção desta tecnologia na saúde.

No terceiro Capítulo justifica-se a escolha metodológica e descrevem-se as realidades internacionais selecionadas para comparação bem como os critérios de análise comparativa utilizados, finalizando-se este capítulo com considerações éticas acerca da associação da blockchain à Inteligência artificial (IA) em saúde com foco na

neurroradiologia, especialidade médica autónoma mas intimamente ligada à radiologia, que realiza diagnósticos e terapêuticas através da análise de exames complementares de diagnóstico por imagem e dos respetivos registos clínicos dos pacientes em observação.

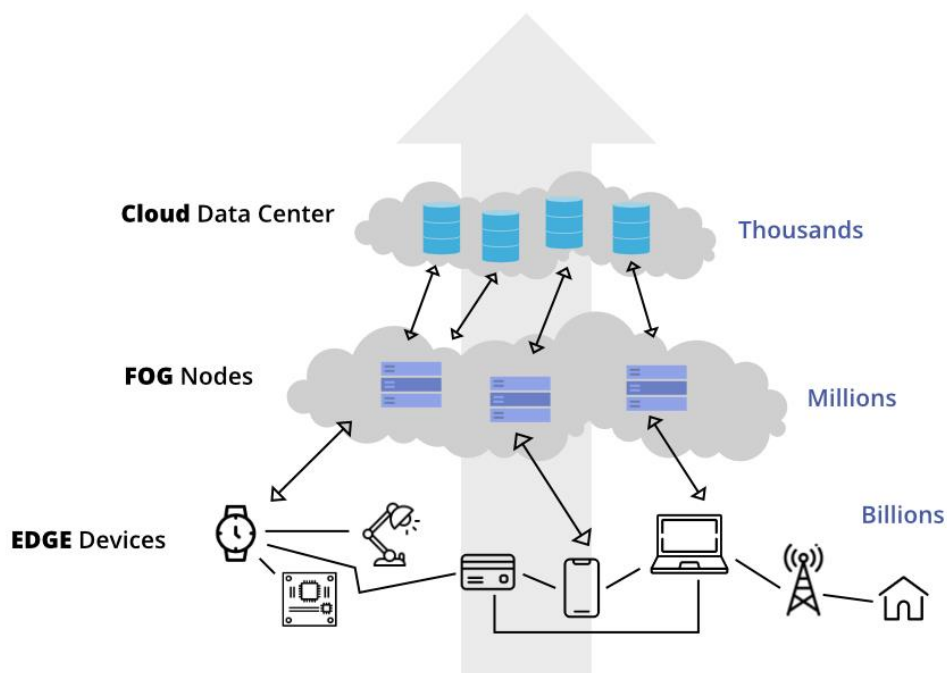
No quarto Capítulo discutem-se as condições necessárias para a adoção da tecnologia *blockchain* nas realidades internacionais comparadas no capítulo anterior bem como a situação atual portuguesa, salientando-se os pontos comuns, as diferenças e as lacunas identificadas nos três países avaliados. Identificam-se barreiras e facilitadores à introdução desta tecnologia em Portugal e estabelecem-se reflexões sobre o potencial desta tecnologia *blockchain* na neurroradiologia nacional.

No quinto Capítulo reafirmam-se e respondem-se às duas hipóteses de investigação colocadas, resumindo-se os resultados obtidos mais importantes, abordando-se a relevância teórica e prática deste estudo, suas limitações, sugerindo-se algumas linhas de investigações futuras e uma reflexão final acerca do tema.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 As Novas Tecnologias

Numa primeira análise às novas tecnologias identificam-se os principais conceitos (Scale Computing, 2023) e resumem-se as principais diferenças na estrutura de rede, vantagens e desvantagens de cada perspetiva de modo a enquadrar inicialmente o atual sistema do Serviço Nacional de Saúde e posteriormente as vantagens futuras da introdução da tecnologia Blockchain.

Figura 1*Cloud Computing, Fog Computing and Edge Computing*

Nota. Diagrama comparando a arquitetura de edge computing, fog computing e cloud computing. Reproduzido de "Difference between Edge Computing and Fog Computing", por S. Dixit, 2023 (<https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-edge-computing-and-fog-computing/>).

Cloud (Nuvem): modelo de computação centralizado em que o armazenamento, o processamento e os serviços de dados são hospedados em servidores remotos (centros de dados) acessíveis através da Internet. Oferece escalabilidade, eficiência de custos e flexibilidade, mas depende de uma Internet estável e pode enfrentar problemas de latência para aplicações em tempo real. Exemplos de plataformas de computação em *cloud*: Amazon Web Services, Google Cloud Platform, Microsoft Azure.

Fog computing: Uma extensão descentralizada da computação em nuvem que aproxima o processamento da fonte de dados, utilizando “nós de névoa” intermediários

(como por exemplo um router⁶). Reduz a latência, melhora a eficiência da largura de banda e suporta aplicações de IoT, tratando os dados localmente antes de os enviar para a *cloud*. Útil para cidades inteligentes e IoT industrial.

Edge computing: Processamento de dados na fonte ou perto dela (por exemplo, dispositivos IoT, sensores) em vez de depender de servidores centralizados. Minimiza a latência, reduz o uso de largura de banda e melhora a tomada de decisões em tempo real. Ideal para veículos autónomos e dispositivos inteligentes. Os dispositivos *edge* geralmente têm poder de computação limitado em comparação com o *fog* ou a *cloud*.

Conforme GeeksGeeks (2025) no modelo de computação distribuída, existem diferenças primordiais na localização e latência dos sistemas, influenciando diretamente seus casos de uso. A *cloud computing* está localizada em centros de dados remotos com latência mais elevada, sendo ideal para análise de grandes volumes de dados. A *fog computing* opera em “nós” locais entre a periferia e a nuvem, apresentando latência moderada e sendo aplicada em IoT e redes inteligentes. Já a *edge computing* localiza-se na fonte de dados ou próximo dela, oferecendo a latência mais baixa, o que a torna adequada para processamento em tempo real, como por exemplo na transmissão de dados clínicos.

As diferentes tipologias de rede dividem-se em: sistemas centralizados (tradicional em estrela -onde um nó central gere o tráfego e sua falha invalida a viabilidade de toda a rede), sistemas descentralizados (rede Peer-to-Peer (P2P)- rede de computadores interligados sem uma autoridade central) e sistemas distribuídos (os dados são replicados em vários nós simultaneamente, o que aumenta a integridade do sistema e a resistência ao bloqueio, sem intermediários).

A tecnologia *blockchain* baseia-se nas duas últimas tipologias. Descrevem-se em seguida sucintamente cada um dos sistemas acima referidos.

O **sistema centralizado**, caracteriza-se por topologias tradicionais como a estrela, em que um nó central gere o tráfego de dados, resultando na interrupção total da rede em caso de falha desse ponto único.

⁶ *router* (dispositivo de rede que conecta múltiplas redes, direcionando o tráfego de dados - pacote- entre elas e permitindo que vários dispositivos partilhem uma única ligação à Internet, enviando informação para os destinos corretos de forma eficiente).

A construção de sistema centralizado depende de um servidor central para gerir um conjunto de “nós” (computadores). Tipicamente, a comunicação entre vários “nós” e o servidor central é como uma ligação *TCP (Transmission Control Protocol)* na qual, quando uma ligação é criada, são enviadas mensagens entre o servidor central e o “nó” ligado. Estas mensagens podem ser tais como registar o “nó” e obter o endereço do “nó” (Hugoson, 2009).

O sistema centralizado tem várias vantagens: toda a responsabilidade da rede é colocada sob o controlo total do servidor central, pelo que é fácil gerir, manter e controlar toda a rede.

Contudo, o sistema centralizado tem múltiplas limitações. Uma das mais relevantes, está no risco de o servidor falhar, o que inutilizará todo o sistema, na medida em que o servidor central realiza todas as operações de processamento e controla todos os nós ligados a si. Este problema é chamado de ponto único de falha (Hugoson, 2009).

O **sistema descentralizado** caracteriza-se por redes *peer-to-peer (P2P)*, nas quais os computadores(nós) se interligam para partilhar recursos sem a necessidade de uma servidor central. Ao invés de ter uma única entidade a controlar todos os dados de um sistema, a informação de uma rede descentralizada está diretamente disponível para todos os participantes, com cada “nó” a armazenar cópias igualmente válidas de ficheiros e documentos, evitando a necessidade de centralização dessa informação.

Cada “nó” pode tomar a sua própria decisão independente com base nos seus objetivos/parâmetros, que podem colidir com os objetivos de outros “nós”. Os computadores têm a possibilidade de ligar e comunicar entre si para partilhar informações e fornecer vários serviços a outros “nós” (Kawano, Orimo, & Mori, 1989).

No sistema descentralizado nenhuma entidade tem controlo e as operações são distribuídas por vários “nós” (computadores) que trabalham em conjunto para manter a rede.

O **sistema distribuído** é um conjunto de “nós” autónomos interligados para formar uma rede única e integrada, coerente e com vasto poder de processamento e armazenamento de dados de modo a alcançar um determinado objetivo. A combinação de capacidades de armazenamento e acompanhamento permite que o sistema distribuído execute tarefas complexas e de grandes dimensões mais rapidamente do que outros sistemas, dividindo tarefas em múltiplas sub-tarefas e distribuindo-as entre os “nós” de

rede que processam e executam essas sub-tarefas e devolvem o resultado ao “nó” principal para recolher e constituir o resultado final (Swierczewski, 2012).

Um sistema distribuído é um banco de dados distribuído e compartilhado que não possui uma autoridade central, transferindo o controle e decisão para uma rede de computadores (nós). Este sistema funciona com transparência, imutabilidade e segurança através de mecanismos de consenso, onde transações são agrupadas em blocos, validadas pela maioria e adicionadas a uma cadeia, criando um registo à prova de alterações. Este registo permite confiança e eficiência sem intermediários, sendo base para entidades como as criptomoedas (e.g., Bitcoin, Ethereum) e aplicações financeiras descentralizadas (DeFi)(Makarov & Schoar, 2022).

Figura 2

Estrutura de sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos

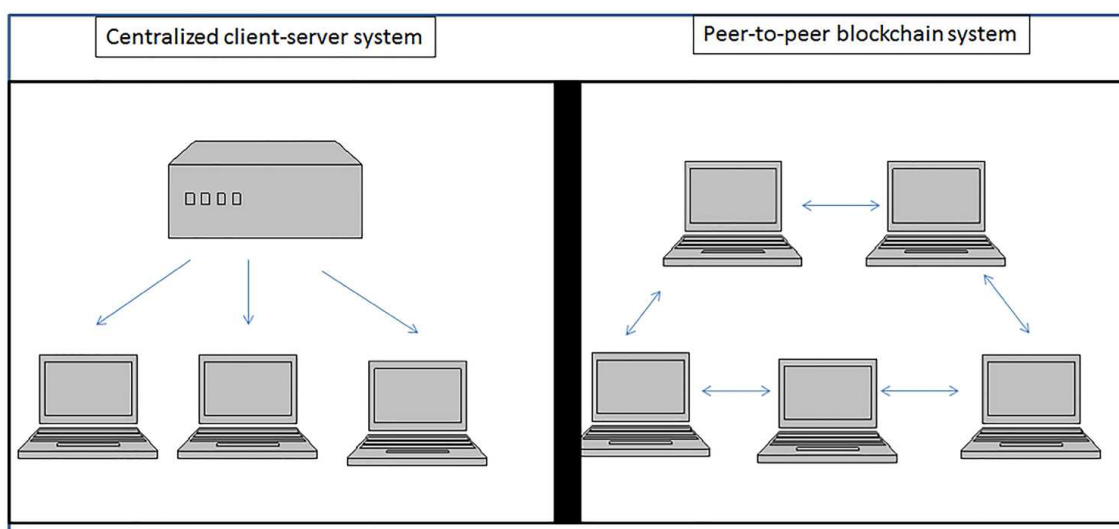


Nota. Estrutura de sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos (Atlam & Wills, 2019)

Reproduzido de "Chapter Three—Intersections between IoT and distributed ledger," por H. F. Atlam & G. B. Wills, 2019, em *Role of Blockchain Technology in IoT Applications* (Vol. 115), editado por S. Kim, G. C. Deka, & P. Zhang, Elsevier, p. 85. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.12.001>.

Figura 3

Sistemas Centralizados e Descentralizados Peer-to-Peer(P2P)



Nota. Reproduzido de "Blockchain in radiology research and clinical practice: Current trends and future directions," por A. S. Tagliafico et al., 2022, La Radiologia Medica, 127(4), p. 393. (<https://doi.org/10.1007/s11547-022-01460-1>).

2.2 O Sistema de Gestão Eletrónica do SNS

O sistema de gestão eletrónica de dados do Serviço Nacional de Saúde (SNS) português é principalmente centralizado, com elementos de uma arquitetura distribuída para apoiar a interoperabilidade e as operações regionais.

Apresenta-se uma descrição dos seus aspetos centralizados com base nas informações disponíveis (Serviço Nacional de Saúde [SNS], s.d.):

Sistema Nacional de Registos de Saúde Eletrónicos (EHR): O SNS conta com um sistema EHR centralizado gerido pelos Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS). Este sistema integra dados clínicos ao nível do paciente (por exemplo, dados demográficos, diagnósticos, medicamentos, resultados laboratoriais) em todo o país, garantindo que os profissionais de saúde tenham acesso a registos completos dos pacientes, independentemente da sua localização.

Sistema de Dados Mestre (SDM): O SDM ou Sistema de Gestão de Dados na Saúde, também gerido pelo SPMS, funciona como uma plataforma centralizada de dados de referência, apoiando a organização do sistema de saúde e a interoperabilidade com outros sistemas. Atua como um centro nevrálgico para a gestão de dados clínicos e administrativos.

Rede Nacional de Dados de Saúde: Inspirada em modelos como o RNDS do Brasil, esta rede centraliza a troca de dados para garantir a continuidade dos cuidados

entre prestadores de saúde públicos e privados. Facilita a partilha de dados padronizados sob uma estrutura unificada.

Supervisão regulatória: O SPMS supervisiona o desenvolvimento e a manutenção dos sistemas de informação de saúde, garantindo a conformidade com as normas nacionais e os regulamentos de privacidade (por exemplo, o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados- RGPD), o que reforça um modelo de governação centralizado.

Descrição dos seus aspetos distribuídos com base nas informações disponíveis (Serviço Nacional de Saúde [SNS], s.d.):

Sistemas regionais e locais: Não obstante o EHR e o SDM principais sejam centralizados, hospitais individuais, centros de cuidados primários e autoridades regionais de saúde operam os seus próprios sistemas de informação que fazem interface com a plataforma nacional. Por exemplo, registos de doenças especializadas (por exemplo, para hipertensão pulmonar) são mantidos em centros de referência, mas são incorporados no sistema nacional.

Interoperabilidade com sistemas externos: O SNS suporta a interoperabilidade com prestadores de cuidados de saúde privados e normas internacionais (por exemplo, o Modelo de Dados Operacionais (ODM)⁷ do Clinical Data Interchange Standards Consortium (CDISC), o que exige uma abordagem distribuída em que os dados são partilhados entre vários sistemas, mantendo a compatibilidade.

Sistemas de vigilância e investigação: Sistemas como o Serviço de Gestão de Dados de Ensaios Clínicos (CTDMS) e a vigilância automatizada de infeções associadas aos cuidados de saúde operam de forma distribuída, recolhendo dados de vários locais (por exemplo, hospitais, laboratórios) e processando-os centralmente para análise.

De acordo com Serviço Nacional de Saúde (SNS, s.d.) o sistema hospitalar privado em Portugal comunica com os hospitais públicos através do sistema centralizado de registos de saúde eletrónicos do SNS e da Rede Nacional de Dados de Saúde, apoiada pelo SPMS. Contudo, apesar desta interoperabilidade que garante a continuidade dos cuidados, apoia a investigação e melhora a vigilância da saúde pública, não estão

⁷ O objetivo principal do ODM é facilitar a troca de dados e metadados de estudos clínicos entre diferentes sistemas de software (como sistemas de captura eletrónica de dados - EDC, sistemas de gestão de laboratório e ferramentas de análise estatística) ao longo de todo o ciclo de vida do estudo, desde a conceção até à submissão regulamentar e arquivo.

abrangidas todas as especialidades e persistem desafios a superar nomeadamente, a fragmentação do sistema e a qualidade dos dados.

Resumindo, o sistema de gestão de dados do SNS português é centralizado na sua essência, com o EHR e o SDM geridos pelo SPMS a fornecerem uma plataforma unificada para dados clínicos e administrativos. No entanto, incorpora elementos distribuídos para acomodar operações regionais, sistemas locais e interoperabilidade com entidades externas. De acordo com os Serviços Partilhados do Ministério da Saúde, E.P.E. (SPMS, s.d.) esta abordagem híbrida (onde a cloud centraliza o armazenamento de longo prazo, enquanto a computação de proximidade -edge computing- reduz a latência na transmissão de dados para aplicações em tempo real) equilibrando a supervisão nacional com flexibilidade, aspetos necessários para diversos contextos de cuidados de saúde.

2.3 Tecnologia Blockchain e seu Funcionamento

A *blockchain* é como um livro-razão digital que regista transações em vários computadores e funciona em termos simples (Zarkorix, 2021). Na Figura 4 exemplifica-se o funcionamento da tecnologia *blockchain*, salientando-se os aspetos:

- 1) Blocos e transações: imagine um caderno em que cada página é um “bloco”. Cada “bloco” contém uma lista de transações que são verificadas por uma rede de computadores (nós).
- 2) Rede descentralizada: em vez de um banco central ou servidor, a blockchain é armazenada em muitos computadores em todo o mundo. Todos têm uma cópia do mesmo livro-razão, pelo que nenhuma pessoa ou entidade o controla.
- 3) Encadeamento de blocos: cada “bloco” é ligado ao anterior por meio de um código único chamado *hash*⁸. Esse *hash* é como uma impressão digital que depende dos dados do bloco e do *hash* do bloco anterior. Se alguém tentar

⁸ *Hash* é um algoritmo que transforma dados de qualquer tamanho (texto, ficheiro ou outro) numa sequência única e fixa de caracteres (letras e números), funcionando como uma "impressão digital" digital para verificar a integridade e autenticidade dos dados, sendo crítico em cibersegurança para garantir que a informação não foi alterada, além de ser usado em bases de dados e armazenamento de senhas, pois é um processo quase irreversível e unidirecional. Não é possível reconstruir os dados originais a partir do hash, o que o torna seguro para armazenar senhas (armazenam-se o hash da senha, não a senha em si). Os *hashes* são amplamente utilizados em computação para diversos fins, incluindo integridade de dados, segurança e recuperação eficiente de dados.

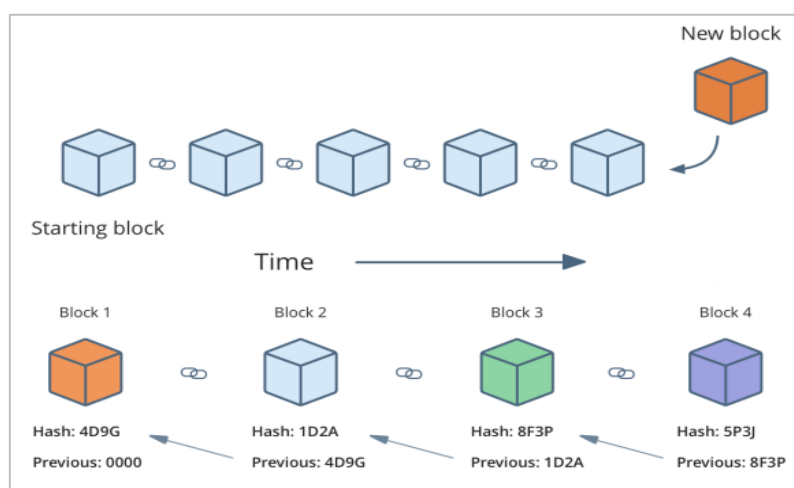
alterar um bloco, o *hash* não corresponderá e todos na rede saberão que algo está errado.

- 4) Consenso: para adicionar um novo “bloco”, a rede deve concordar que ele é válido. Isto é feito através de um processo como a “prova de trabalho” (os computadores resolvem um problema matemático complexo) ou a “prova de participação” (os nós -computadores-votam com base na sua participação). Isto garante a confiança do procedimento sem intermediários.
- 5) Imutável e transparente: uma vez adicionado, é quase impossível alterar um “bloco”, pois ele é bloqueado pela cadeia de *hashes*⁹ e armazenado em vários computadores. Qualquer pessoa pode visualizar a *blockchain* para ver o histórico de transações, tornando-a transparente.

Em resumo, a blockchain é uma forma segura, transparente e descentralizada de registar e partilhar dados (Susnjara, & Smalley, 2021)¹².

Figura 4

Princípio da tecnologia da Blockchain



Nota. Reproduzido de Blockchain vs. DAG - an overview, por u/14Zarkorix, 2021, Reddit (www.reddit.com).

As estruturas de blockchain dividem-se em públicas (abertas e sem permissão), privadas (restritas a uma organização), de consórcio (geridas por um grupo) e híbridas

⁹ Plural de hash.

(mistas), variando conforme quem pode ler, escrever ou validar dados na rede (IBM, 2021a).

A arquitetura moderna de blockchain utiliza uma estrutura modular de três camadas para equilibrar segurança e desempenho (Antier Team, 2024). A camada 1, é a rede principal e lida com a segurança fundamental e o consenso (e.g., criptomoedas- Bitcoin, Ethereum) utilizando criptografia para encadear os blocos e algoritmos de validação para assegurar que todos os participantes concordam com o estado do registo. A camada 2, aumenta a escalabilidade processando transações externas de forma rápida e económica. A camada 3, concentra-se na experiência do utilizador, facilitando a interoperabilidade e o desenvolvimento de aplicações específicas, permitindo que lógica de negócio complexa seja implementada através de *smart contracts* (ver secção 2.5 "Smart Contracts") servindo de interface para o utilizador final através de aplicações descentralizadas (dApps) que operam de forma transparente e imutável (IBM, 2021b).

A topologia de rede da blockchain afasta-se dos modelos tradicionais centralizados, como a topologia em estrela, para adotar uma rede Peer-to-Peer (P2P) assente numa arquitetura distribuída. Nesta configuração, os dados são replicados integralmente em múltiplos nós independentes e interligados, eliminando a dependência de um servidor central; esta descentralização assegura que o sistema mantenha a sua integridade e resistência à censura, garantindo que a rede continue operacional e imutável mesmo que vários dos seus componentes sofram falhas ou ataques (Swierczewski, 2012).

O modelo de transparência da blockchain fundamenta-se na natureza pública e auditável do seu registo, permitindo que qualquer participante verifique o histórico completo de transações em tempo real sem depender de intermediários. No entanto, esta clareza operacional está diretamente ligada a uma estrutura de custos variável, em que as taxas de rede (conhecidas como *gas fees*) oscilam conforme a procura e a complexidade do processamento. Nas redes privadas e permissionadas, o modelo de transparência original da blockchain sofre uma alteração fundamental: a visibilidade deixa de ser pública para se tornar seletiva e controlada (IBM, 2021a).

2.4 Integração Blockchain – IoT (Internet of Things)

O sistema *IoT* facilita o desenvolvimento de várias aplicações e serviços, permitindo que diferentes dispositivos e objetos partilhem os seus dados através da

Internet, melhorando a qualidade de vida das pessoas através da digitalização de vários serviços. Ao longo dos últimos anos, as tecnologias de computação em nuvem têm fornecido ao sistema *IoT* a funcionalidade necessária para analisar e processar informação e para a converter em ações e conhecimentos em tempo real (Reyna et al., 2018).

O impressionante progresso da *IoT* tem promovido novas oportunidades em diferentes campos. Uma das grandes preocupações que constitui um obstáculo à prometida distribuição de dispositivos *IoT* é a falta de confiança. Isto deve-se ao facto de a actual arquitetura *IoT* depender de um sistema centralizado no qual um terceiro ou fornecedor de serviços gere e controla todos os dados recolhidos a partir de dispositivos *IoT*, sem limites transparentes sobre a forma como os dados recolhidos estão a ser utilizados. O servidor centralizado funciona como uma caixa negra e os participantes da rede não têm possibilidade de saber onde e como os seus dados são utilizados (Fabiano, 2017).

Por oposição, a *blockchain* proporciona um ambiente autónomo, distribuído, descentralizado e de confiança. Em contraste com a arquitetura centralizada que apresenta várias questões relativas ao ponto único de falha e escalabilidade, a *blockchain* utiliza um registo descentralizado e distribuído para utilizar as capacidades de processamento de todos os *nós* participantes na rede, proporcionando maior eficiência. Além disso, como não há necessidade de uma terceira parte ou de uma autoridade central, a facilidade de desenvolvimento de um fluxo de trabalho de confiança é reforçada (Ferraro, King, & Shorten, 2018).

A integração da *blockchain* na Internet das Coisas (IoT) permite que dispositivos conectados à internet enviem os seus dados para redes *blockchain*, criando para isso registos invioláveis de transações compartilhadas, de forma distribuída (IBM, 2021c-07-29).

2.5 Smart Contracts (Contratos Inteligentes)

Os contratos inteligentes são programas autoexecutáveis armazenados numa *blockchain* que aplicam e executam automaticamente os termos de um acordo quando condições predefinidas são cumpridas. Eliminam intermediários usando um código para tratar tarefas como transferência de fundos, verificação de dados ou gestão de acesso,

garantindo transparência, segurança e imutabilidade, garantindo confiança e segurança (IBM, 2021b).

Ao eliminar os intermediários, os contratos inteligentes, reduzem custos e aumentam a transparência ao serem executados em redes descentralizadas como a *Ethereum*¹⁰. As linguagens de contratos inteligentes são códigos de programação que correm em blockchains, sendo a *Solidity*¹¹ a mais popular para a rede *Ethereum* (IBM, 2021b).

O pagamento das transações, registos, execução de códigos distribuídos, assinaturas de contratos inteligentes, ou qualquer outra aplicação executada na rede Ethereum, é feito em moeda digital, neste caso *ether*, podendo a rede *Ethereum* ser considerada como um “grande” computador onde os utilizadores pagam pela quantidade de recursos que utilizam (Cryptomus, 2025).

A interseção da radiologia com a tecnologia blockchain e contratos inteligentes tem sido objeto de discussão recente (Ghorashi et al., 2023), não se encontrando ainda os contratos inteligentes em neurroradiologia amplamente implementados, uma vez que a tecnologia blockchain ainda está a emergir na área da saúde, particularmente em subespecializações da radiologia como a neurroradiologia.

Segundo Ghorashi et al. (2021) com base no potencial dos contratos inteligentes na área da saúde e da radiologia, consideram-se alguns exemplos conceptuais de como poderiam ser aplicados em neurroradiologia, como na partilha segura de dados de neuroimagem onde um contrato inteligente poderia automatizar a transferência segura de imagens de ressonância magnética ou tomografia computadorizada entre neurroradiologistas, médicos de outras especialidades e pacientes. Por exemplo, quando um paciente concorda em partilhar a sua ressonância magnética cerebral com um especialista, o contrato inteligente verifica as assinaturas digitais de todas as partes, encripta os dados e os liberta para o destinatário autorizado numa rede blockchain.

Os contratos inteligentes podem também ser relevantes no acesso controlado pelo paciente aos registos de saúde (Ghorashi et al., 2023).

¹⁰ O Ethereum é uma plataforma descentralizada baseada em blockchain que permite a execução de contratos inteligentes (smart contracts) e o desenvolvimento de aplicações descentralizadas (dApps). Lançado em 2015 por Vitalik Buterin e outros cofundadores, é a segunda maior *blockchain* por capitalização de mercado, atrás do Bitcoin.

¹¹ *Linguagem de programação de alto nível orientada para contratos, concebida para escrever contratos inteligentes em plataformas blockchain, principalmente Ethereum.*

Outra potencialidade dos contratos inteligentes é o pagamento automatizado de serviços de neurroradiologia, que pode simplificar a faturação de consultas ou de relatórios, acionando o pagamento ao prestador de serviços de saúde ou seguradora registrando a transação na blockchain. Esta funcionalidade automatizada reduziria as despesas administrativas e poderia garantir pagamentos pontuais sem intermediários, de acordo com Ghorashi et al. (2023).

No campo da automação através dos contratos inteligentes é possível potencialmente a verificação automatizada da qualidade das imagens, com a sua integração aos equipamentos de ressonância magnética, habilitadas para IoT, para verificação da qualidade das imagens adquiridas e se atendem aos padrões requeridos (por exemplo, resolução espacial das imagens ou contraste) antes de serem enviadas para interpretação. Esta facilidade de automação dos contratos inteligentes poderia ajudar a reduzir erros de diagnóstico.(Ghorashi et al., 2023).

Apesar do exposto anteriormente, estes exemplos são especulativos porque as aplicações de contratos inteligentes específicos para neurroradiologia não estão bem documentadas na prática atual (Tagliafico et al., 2022).

A integração da blockchain no setor da saúde tem sido objeto de estudo, e Kasyapa e Vanmathi (2024) expõem uma análise alargada dos seus casos de uso e desafios associados. Na saúde a integração da *blockchain* enfrenta como principais obstáculos a integração com os sistemas de imagem médica existentes (por exemplo, PACS- Picture Archiving and Communication System -Sistema de Arquivamento e Comunicação de Imagens), a garantia da conformidade regulamentar de cada país (no caso português também da União Europeia) e a abordagem do alto custo computacional das transações da *blockchain*. Também os contratos inteligentes têm riscos nomeadamente o risco de executar um código defeituoso, o que pode ser crítico em contextos clínicos onde erros no acesso a dados ou a faturação podem prejudicar os cuidados de saúde ao paciente.

Os grandes modelos de linguagem (LLM), como o ChatGPT, podem ser instrumentos na integração de tecnologias de blockchain e contratos inteligentes na radiologia (Nguyen et al., 2019). Segundo Hasselgren et al. (2020) as capacidades de processamento de linguagem natural destes modelos poderão ser utilizadas para automatizar várias tarefas, incluindo a realização da leitura dos relatórios dos exames de

neurorradiologia, a recolha de dados pertinentes e a subsequente produção de dados estruturados. Através da integração de LLMs aos contratos inteligentes, os fluxos de trabalho da radiologia/neurorradiologia podem ser otimizados, promovendo a tomada de decisões, reduzindo o trabalho administrativo e melhorando os cuidados assistenciais ao paciente (Sharma et al., 2020).

2.6 Aplicações em Saúde

Segundo Haleem et al. (2021), a tecnologia *blockchain* apresenta um vasto potencial de aplicação no setor da saúde, tendo-se destacado inicialmente na gestão de registos de saúde eletrónicos (EHRs). Esta tecnologia assegura o armazenamento e a partilha segura de dados entre prestadores (Esposito et al., 2018), garantindo a integridade das informações e devolvendo o controlo aos pacientes através de chaves privadas, como demonstrado pela plataforma MedRec¹² desenvolvida no Massachusetts Institute of Technology (MIT)(Agbo et al., 2019). No âmbito da segurança e privacidade, a estrutura descentralizada e a criptografia protegem dados sensíveis contra violações, permitindo o acesso seletivo e o anonimato em conformidade com as regulamentações vigentes (Haleem et al, 2021).

Adicionalmente, Agbo et al (2019) referem que a gestão da cadeia de abastecimento beneficia do rastreio de fármacos e dispositivos desde o fabricante até ao utilizador final, combatendo a contrafação, tal como exemplificado pelo projeto Hyperledger¹³ da IBM¹⁴. Na investigação e ensaios clínicos, a *blockchain* fomenta a transparência e impede a manipulação de resultados, utilizando contratos inteligentes para automatizar processos de consentimento (Dinc & Ardic, 2024). Esta automatização estende-se à gestão de faturação e reclamações de seguros (Kuo et al., 2017).

A blockchain pode também verificar as credenciais dos profissionais de saúde, reduzindo fraudes e garantindo a confiança. (Agbo et al, 2019).

¹² MedRec é um sistema conceptualizado pelo MIT Media Lab que usa blockchain para gerir o acesso a Registos Médicos Eletrónicos (EHR).

¹³ *Hyperledger* -também designado IBM Blockchain Transparent Supply, é uma solução IBM (International Business Machines Corporation) que aproveita a natureza imutável e transparente do blockchain para criar um registo verificável de cada transação na cadeia de abastecimento.

¹⁴ IBM (International Business Machines Corporation) é uma multinacional norte-americana de tecnologia que em 2025 consolidou a sua transição para uma empresa focada em nuvem híbrida, Inteligência Artificial (IA) e computação quântica.

A blockchain tem um papel importante na gestão do consentimento do paciente, registando e gerindo o consentimento do paciente para a utilização de dados, garantindo a conformidade com regulamentos como o RGPD, como por exemplo o facto de os contratos inteligentes poderem registar os carimbos de data e hora do consentimento e as autorizações (Ghorashi et al., 2023).

Na monitorização remota e em telerradiologia a blockchain protege os dados de dispositivos IoT (Reyna et al., 2018) e plataformas de telerradiologia (Peerzada & Kumar, 2025), respectivamente, garantindo a integridade e a privacidade dos dados de saúde gerados pelos pacientes (por exemplo as aplicações baseadas em blockchain que validam dados de monitorização remota).

De acordo com Dinc e Ardic (2024) a tecnologia blockchain pode beneficiar significativamente o financiamento da saúde ao agilizar processos, melhorar a gestão de dados e reduzir custos. A utilização da blockchain pode reduzir custos na indústria dos cuidados de saúde, nomeadamente nos custos da interoperabilidade, segurança e manutenção de sistemas. (Zhou et al, 2022).

No que respeita à análise de dados de saúde (ADS), a *blockchain* proporciona oportunidade única para potenciar o poder de outras tecnologias emergentes, tais como técnicas de *deep learning*¹⁵ e *transfer learning*¹⁶, de forma a concretizar a análise preditiva de dados de saúde e fazer avançar a investigação na área da medicina de precisão (Shae & Tsai, 2018).

A aplicação de processos de gestão de conhecimento pode ajudar as organizações de saúde a prestar melhores cuidados, com menor risco para os pacientes, e a reduzir os custos associados (Ayatollahi & Zeraatkar, 2020).

Na área de negócio e de acordo com a Grand View Research (2025) o mercado global da tecnologia *blockchain* em saúde deve atingir cerca de 140 mil milhões de dólares até 2030, na Europa, sendo esta tecnologia impulsionada pela necessidade de sistemas seguros e transparentes de gestão de dados e pela prevenção da falsificação de medicamentos, constituindo a gestão da cadeia de abastecimento uma fatia substancial deste mercado em expansão.

¹⁵ é uma subárea avançada de *Machine Learning* que utiliza redes neurais artificiais com múltiplas camadas para aprender representações complexas de dados.

¹⁶ técnica de *Machine Learning* onde um modelo desenvolvido para uma tarefa inicial é reutilizado como ponto de partida para um segundo modelo numa tarefa diferente, mas relacionada.

2.7 Aplicações de Utilização em Neurroradiologia

Os exames complementares de diagnóstico utilizadas na especialidade médica de neurroradiologia são a Ressonância Magnética, a Tomografia Computorizada, a Angiografia Digital de Subtração, Ultrassonografia e Raios X, que geram grandes volumes de dados sensíveis.

Cada tipo de exame referido gera um conjunto de imagens que são interpretadas em função dos registos clínicos do examinado.

A tecnologia blockchain, sendo um sistema de registo descentralizado, seguro e imutável, como já anteriormente exposto, tem aplicações emergentes em saúde e nas especialidades médicas que realizam diagnósticos por imagem, como é o caso da radiologia e da neurroradiologia.

Embora a sua utilização da blockchain em neurroradiologia ainda esteja em fase inicial, as principais aplicações potenciais com base nas tendências atuais, enquadram-se no seguinte cenário no estudo de Sabah et al. (2021):

A blockchain pode permitir o armazenamento e a partilha segura e descentralizada de imagens de exames de neurroradiologia, permitindo que os pacientes tenham e controlem o acesso aos seus dados de imagem. Os pacientes podem conceder permissões a neurroradiologistas ou outros profissionais de saúde usando chaves criptográficas, garantindo a privacidade e reduzindo a dependência de sistemas centralizados propensos a violações. Este aspeto é particularmente valioso para a partilha de grandes ficheiros DICOM¹⁷ usados nas imagens dos exames diagnósticos da neurroradiologia. Por exemplo, um paciente com um tumor cerebral pode partilhar as suas ressonâncias magnéticas com vários neurroradiologistas para obter uma segunda opinião sem correr o risco de adulteração de dados ou acesso não autorizado.

A melhoria da privacidade e segurança dos dados é obtida através de protocolos criptográficos da blockchain que garantem que dados neurroradiológicos sensíveis, como imagens cerebrais para doenças como acidente vascular cerebral ou demência, por

¹⁷ DICOM é um padrão internacional (ISO 12052) para armazenamento, transmissão e visualização de imagens médicas e informações associadas. Os ficheiros DICOM (extensão.dcm ou sem extensão) contêm imagens- dados de imagem em alta resolução (ex.: 2D, 3D, ou sequências temporais) e metadados- informações como nome do paciente, número de identificação paciente, data do exame, modalidade (TC, RM, etc.), configurações do equipamento e anotações clínicas.

exemplo, permaneçam à prova de adulteração e sejam rastreáveis. Este aspeto relaciona-se com preocupações com a privacidade nos registos de saúde eletrónicos (EHRs), que são críticos em neurroradiologia para manter a confiança do paciente.

Os contratos inteligentes (*scripts* automatizados na blockchain) podem impor o controlo de acesso, garantindo que apenas o pessoal autorizado visualize ou anote os dados de imagem.

Por outro lado, o rastreamento das contribuições da IA no diagnóstico em neurroradiologia está em funcionamento para a análise de imagens, como a deteção de lesões ou a quantificação de atrofia cerebral. A blockchain pode documentar as contribuições dos algoritmos de IA para os relatórios de diagnóstico, incluindo que ferramentas ou versões foram utilizadas, garantindo transparência e reprodutibilidade (Duong et al., 2020). Esta funcionalidade é importante para a validação clínica de diagnósticos baseados em IA nomeadamente em situações como doença de Alzheimer ou epilepsia.

Por exemplo, um livro-razão de blockchain poderia registar que um modelo específico de IA identificou uma micro-hemorragia num exame de imagem cerebral de monitorização terapêutica de um paciente com doença de Alzheimer integrado num ensaio clínico com um fármaco, permitindo que vários neurroradiologistas possam verificar a confiabilidade desta ferramenta na monitorização terapêutica de pacientes com este diagnóstico submetidos a esta terapêutica específica.

Outra funcionalidade é a gestão de dados de ensaios clínicos, onde a blockchain pode melhorar a rastreabilidade e a integridade dos dados de imagens neurroradiológicas usadas em ensaios clínicos, como por exemplo os usados para terapêuticas de AVC ou doenças neurodegenerativas. Esta tecnologia fornece um registo à prova de falsificação de dados de imagens, de anotações e consentimento do paciente, aumentando a confiança dos diferentes interessados e promovendo a conformidade regulamentar (Bathula et al., 2024).

Por exemplo, em ensaios clínicos para novos medicamentos para a doença de Alzheimer, a blockchain pode rastrear exames de ressonância magnética em série para monitorizar a progressão da doença e a resposta terapêutica, garantindo a autenticidade dos dados e permitindo o compartilhamento seguro com os pesquisadores.

Os ensaios clínicos são assim outra área que pode explorar a tecnologia blockchain dentro de um conjunto de ensaios de imagem onde a segmentação de lesões e a implementação de algoritmos de análise tomam posições dianteiras.

A imutabilidade intrínseca da tecnologia blockchain é fundamental para mitigar o enviesamento de resultados em estudos académicos ou comerciais (George & Buyse, 2015). Adicionalmente, esta segurança facilita a investigação secundária em biobancos, assegurando a integridade dos dados brutos ao agrupar informações de múltiplos ensaios (European Society of Radiology [ESR], 2021).

A dificuldade de interoperabilidade dos EHRs nos cuidados de saúde onde também no caso da neurroradiologia envolve frequentemente cuidados multidisciplinares (por exemplo, neurologistas, neurocirurgiões e radiologistas) pode ser resolvida pela blockchain, criando uma plataforma unificada e segura para partilhar imagens e dados clínicos entre diferentes médicos dentro ou fora da mesma unidade de saúde (Bathula et al., 2024). Esta funcionalidade é crucial para coordenar os cuidados de saúde em pacientes com casos complexos, nomeadamente de urgência, como os AVCs agudos ou os traumatismos cranioencefálicos graves.

Por exemplo a angiografia por TC e as notas clínicas de um paciente com AVC agudo poderão ser acedidas com segurança por um neurroradiologista e um neurocirurgião em hospitais diferentes por meio de uma rede baseada em blockchain.

No campo da medicina à distância, casos da telerradiologia e consultas remotas, a blockchain pode auxiliar, fornecendo um registo imutável da transmissão e interpretação de imagens, garantindo a integridade das imagens neurroradiológicas durante consultas remotas e em telerradiologia (Ahmad et al., 2021).

A pesquisa e compartilhamento de dados para o desenvolvimento de IA e técnicas de associação de IA e *deep learning* é uma das grandes potencialidades do blockchain. Os desenvolvimentos de modelos de IA para neurroradiologia requerem grandes conjuntos de dados anotados de imagens cerebrais. A blockchain pode facilitar a partilha segura e transparente de dados de imagens não identificados entre instituições, enquanto rastreia as contribuições e garante o consentimento do paciente. Esta associação apoia a pesquisa de determinadas entidades diagnósticas como tumores cerebrais ou outras doenças do sistema nervoso central.

A radiômica (imagem médica computacional) ciência que intersecciona informação entre a radiologia e a oncologia, extraindo características quantitativas de imagens médicas não visíveis a “olho nú”, tem implicações clínicas na gestão de tumores cerebrais, desde o diagnóstico, à caracterização não invasiva (como o estado de mutação molecular), à previsão da resposta ao tratamento, à monitorização da doença e à investigação. Para gerar biomarcadores preditivos, a abordagem radiômica recorre tanto a algoritmos de *deep learning* (aprendizagem profunda) como a técnicas de análise manual de características da imagem (Wang et al., 2025).

Segundo a ESR (2021), a *blockchain* impulsiona novos modelos de negócio que visam resolver a escassez de dados qualificados, o principal entrave ao avanço da Inteligência Artificial (IA). Embora os algoritmos de *deep learning* revelem grande potencial na interpretação de imagens médicas, o seu desenvolvimento sustentável é atualmente limitado pela carência de repositórios massivos de imagens que apresentem anotações de elevada precisão (ESR, 2021).

Neste contexto, a ESR (2021) enfatiza que o esforço de pacientes e radiologistas na partilha e anotação de dados é frequentemente negligenciado face ao lucro tecnológico. A *blockchain* introduz transparência neste processo, permitindo rastrear contribuições individuais e viabilizar recompensas financeiras consensuais. Esta descentralização do controlo promove uma colaboração mais equitativa e uma inovação clínica sustentável na neurroradiologia (ESR, 2021).

A aplicação desta tecnologia estende-se também ao setor administrativo e operacional das unidades de saúde, onde se destacam melhorias significativas na gestão da cadeia de abastecimento, no rigoroso controlo dos registos de manutenção e na inspeção de equipamentos de imagiologia (ESR, 2021).

3. METODOLOGIA

3.1 A Justificação da Escolha Metodológica

A tecnologia *blockchain* é uma solução emergente para a gestão de dados na saúde, oferecendo uma infra-estrutura descentralizada que garante a imutabilidade, segurança e interoperabilidade dos registos clínicos. Na radiologia e especificamente na neurroradiologia, as aplicações desta tecnologia incluem a partilha de imagens controlada

pelo doente, a facilitação de investigação multi-institucional e a integração de inteligência artificial (Tomihama et al., 2025).

A deteção e o diagnóstico das doenças neurológicas são fundamentais para o tratamento e gestão eficazes dos pacientes. Nos últimos anos, a integração da tecnologia de cadeia de blocos e das abordagens de IA têm surgido como uma solução promissora para melhorar a precisão e a eficiência da deteção destas doenças.

Procedeu-se a uma revisão sistemática narrativa estruturada da literatura sobre Blockchain na saúde, seus desafios e oportunidades com foco na neurroradiologia, complementada por uma análise comparativa qualitativa de casos, nacional (Portugal) e internacionais (Reino Unido e Estónia), de modo a fornecer uma visão geral da pesquisa existente e dos avanços neste campo, bem como analisar a viabilidade e orientar a sua potencial implementação em Portugal. A análise comparativa qualitativa de casos internacionais, com realidades de nações onde esta tecnologia já se encontra em implementação, visa identificar fatores de sucesso que possam orientar a sua futura implementação no contexto nacional.

Estes resultados podem também ajudar a identificar áreas de possíveis lacunas na investigação realizada. A revisão sistemática narrativa estruturada pode permitir também investigar as tendências atuais em termos de abordagens técnicas, metodologias e conceitos utilizados no desenvolvimento de aplicações de saúde baseadas em blockchain.

3.2 A Descrição das Realidades Internacionais Seleccionadas para Comparação

Escolheram-se duas realidades distintas onde a tecnologia blockchain já foi introduzida na saúde, a primeira a do Reino Unido, por ter um sistema nacional de saúde no qual se inspirou o sistema nacional de saúde português (História do SNS, s.d.) e a segunda a da Estónia por ser um dos países europeus mais digitalizados (European Commission, 2024).

A tecnologia blockchain na neurroradiologia, especificamente no Reino Unido e na Estónia é uma área emergente com aplicações diretas limitadas, mas com um potencial enorme com base em implementações mais amplas na área da saúde e da imagiologia médica (radiologia/neurroradiologia).

3.2.1 Reino Unido

O governo do Reino Unido, identificou o Serviço Nacional de Saúde (NHS) como um potencial beneficiário da blockchain para a partilha segura de registos médicos de saúde e autenticação de serviços (Government Office for Science, 2016).

O sistema de saúde britânico, centrado no NHS, é conhecido pelo seu compromisso com o bem-estar público, enfrentando obstáculos nevrálgicos como a gestão ineficiente de dados e riscos à privacidade dos pacientes (Government Office for Science, 2016), além de gastos operacionais crescentes (The King's Fund, 2023) que podem comprometer o atendimento eficiente dos pacientes.

Este contexto é agravado pela produção massiva de dados anualmente, exigindo a adoção de tecnologias inovadoras, constituindo a *blockchain* a atual solução mais promissora.

O Reino Unido tem explorado o papel transformador do blockchain na área da saúde (Healthcare Marketing Service, 2025), sendo as principais aplicações práticas:

O melhoramento os Registos Eletrónicos de Saúde (EHR) através da tecnologia blockchain tem a capacidade de aumentar substancialmente a segurança e a transparência dos dados clínicos e a interoperabilidade dos registos eletrónicos de saúde (EHR). Atualmente, os registos de saúde dos pacientes são muitas vezes armazenados em sistemas isolados, resultando em fragmentação, ineficiências e potenciais violações de dados. Ao utilizar a tecnologia blockchain, as organizações de saúde podem desenvolver uma estrutura unificada e segura para a gestão dos registos clínicos dos pacientes, garantindo que os dados sensíveis permaneçam intactos e acessíveis apenas aos profissionais autorizados. Por outro lado, a implementação da tecnologia blockchain permite atualizações em tempo real dos registos dos pacientes, melhorando a precisão do histórico clínico e dos planos de tratamento instituídos. Por exemplo, quando um paciente for atendido em diferentes locais, os seus registos clínicos podem ser atualizados instantaneamente em todas as plataformas, garantindo que os profissionais de saúde possam ter acesso às informações atualizadas. Esta facilidade tecnológica para além de aumentar a segurança do paciente e a qualidade do atendimento prestado, pode solucionar os problemas urgentes de fragmentação de dados no sistema de saúde do Reino Unido.

A transformação da gestão da cadeia de abastecimento na Saúde e o impacto que a implementação do *blockchain* tem de potencialmente transformar a gestão logística da

saúde no Reino Unido, promovendo maior transparência e eficácia operacional. A atual cadeia de abastecimento da área da saúde frequentemente enfrenta desafios como medicamentos contrafeitos, rastreabilidade inadequada e ineficiências no rastreamento de dispositivos médicos. Ao utilizar a tecnologia blockchain, as partes interessadas podem garantir que cada transação seja registada num livro-razão imutável, fornecendo uma auditoria fidedigna. Ao garantir a integridade dos medicamentos desde a fabricação até ao destino final, o *blockchain* elimina os riscos associados a produtos falsificados, reforçando a segurança do utente. Deste modo é assim possível proteger a cadeia de distribuição, acelerando a logística de reabastecimento, evitando ruturas de stock em hospitais e clínicas. O potencial transformador da tecnologia *blockchain* é evidente: promove uma gestão de aprovisionamento mais ágil e transparente, elevando os padrões de qualidade de todo o sistema de saúde.

A investigação científica e a otimização dos ensaios clínicos no Reino Unido com blockchain podem beneficiar significativamente da tecnologia *blockchain*, especialmente no que diz respeito à integridade e transparência dos dados. Esta tecnologia assegura o registo imutável das informações, oferecendo aos investigadores um mecanismo robusto para monitorizar e validar dados durante todo o ciclo de vida do estudo. Além de otimizar o recrutamento e a gestão do consentimento informado, o *blockchain* permite a partilha de resultados preservando o anonimato dos voluntários. Esse método não apenas reforça a credibilidade dos ensaios clínicos, mas também acelera o ciclo de pesquisa, beneficiando, em última análise, o atendimento ao paciente, facilitando a introdução mais rápida de novos tratamentos no mercado (Healthcare Marketing Service, 2025).

No caso específico da neurroradiologia a introdução da *blockchain* para além das vantagens gerais, nomeiam-se alguns exemplos concretos de iniciativas empresariais do sector privado como por exemplo a empresa c Medicalchain¹⁸ que está a desenvolver plataformas de *blockchain* para manter a integridade dos registos de saúde e a sua partilha segura, que podem incluir imagens neurroradiológicas. Estas plataformas garantem um

¹⁸ A Medicalchain é uma plataforma baseada em blockchain com sede em Londres, que visa revolucionar a área da saúde, dando aos utentes o controle sobre seus registos eletrónicos de saúde (EHRs), permitindo a partilha segura com os profissionais de saúde por meio de uma visão única e unificada, viabilizando a telemedicina e aplicativos de saúde através de contratos inteligentes.

“único ponto de verdade” para os dados de imagem, protegendo contra alterações não autorizadas e permitindo a partilha segura entre especialistas e diferentes unidades do NHS.

O projeto MediLedger¹⁹, foca-se na logística, é outro exemplo para segurança e contratos da cadeia de abastecimento da saúde, nomeadamente da indústria farmacêutica, sugerindo que o papel da *blockchain* na integridade da cadeia de abastecimento que poderá potencialmente estender-se à aquisição de equipamentos e aos agentes de contraste em neurroradiologia.

A investigação e integração da *blockchain* com a Inteligência Artificial (IA), onde o potencial da tecnologia *blockchain* inclui o apoio à investigação através do rastreio de contribuições para conjuntos de dados de imagem utilizados para a formação em IA em neurroradiologia. A Sociedade Europeia de Radiologia (ESR) emitiu recomendações para a implementação eficaz na Europa de IA na radiologia (Kotter et al., 2025).

Por exemplo, a *blockchain* poderia garantir a rastreabilidade das anotações de exames de neuroimagem, aumentando a equidade e a privacidade nos diagnósticos baseados em IA para deteção de doenças neurológicas como por exemplo a doença de Alzheimer. Os contratos inteligentes poderiam automatizar o acesso aos dados para os investigadores, mantendo o consentimento dos pacientes.

Vantagens a longo prazo da introdução da *blockchain* no NHS do Reino Unido

Potencialmente a introdução da *blockchain* no NHS trará redução de custos, maior satisfação dos utentes e maior confiança no sistema de saúde, o que ressalta a importância de investir em inovações tecnológicas de *blockchain* nesta área (Healthcare Marketing Service, 2025).

Desafios da adoção da tecnologia *blockchain* no Reino Unido

¹⁹ MediLedger é uma plataforma *blockchain* para a indústria farmacêutica, que usa tecnologia segura para alinhar dados e transações entre fabricantes, distribuidores, grupos organizadores de compras e sistemas de saúde, visando eliminar erros, reduzir perdas de receita e melhorar a eficiência com automação de contratos e verificação de medicamentos.

A adoção desta tecnologia no Reino Unido do blockchain enfrenta barreiras como escalabilidade, altos custos computacionais e conformidade regulatória com regulamentos estabelecidos, nomeadamente com o RGPD e a governança de dados do NHS (Healthcare Marketing Service, 2025). A escalabilidade em blockchain refere-se à capacidade de uma rede gerir um volume crescente de transações e dados de forma eficiente, sem comprometer a velocidade, a segurança ou o custo operacional. Neste contexto particular do sistema de saúde britânico, a escalabilidade é fulcral para permitir os registos médicos dos seus habitantes sejam partilhados e atualizados em tempo real entre hospitais e clínicas sem que a rede fique congestionada ou os custos de transação se tornem demasiado onerosos.

De acordo com o Healthcare Marketing Service (2025) a complexidade de integrar a blockchain com os sistemas de Tecnologias de Informação (TI) existentes (que podem não ser compatíveis) do NHS e garantir a interoperabilidade e a migração de dados entre regiões é um dos grandes obstáculos. Salienta ainda a possível resistência cultural à adoção de novas tecnologias, por parte dos profissionais de saúde, que podem demonstrar relutância em aceitar alterações nos fluxos de trabalho previamente estabelecidos.

3.2.2 Estónia

A Estónia é líder global na integração da blockchain nos cuidados de saúde, particularmente através do seu sistema de saúde eletrónica (Soares et al., 2023), o que poderá alargar-se a aplicações de neurorradiologia.

O sistema de saúde da Estónia é um modelo público, financiado por impostos, com foco na digitalização extrema (registos clínicos, receitas eletrónicas e exames complementares de diagnóstico) e nos cuidados primários de saúde, utilizando a tecnologia blockchain para garantir a segurança e rastreabilidade dos dados de saúde, dando acesso total ao utente/paciente dos seus dados. É universal para residentes que pagam impostos sendo gerido pelo Fundo de Seguro de Saúde (EHIF), com cobertura quase total e custos baixos para o paciente, mas permite coexistência de seguros privados para agilidade extra, e é interoperável nos países da União Europeia.

Os pacientes na Estónia têm acesso total aos exames de imagem que realizam, bem como a todo o seu histórico médico digital através do portal do paciente, sendo o acesso feito de forma segura com o cartão de identificação eletrónico nacional, podendo ver que profissionais de saúde acederam aos seus dados e em que data, o que promove a

confiança no sistema. Os pacientes podem assim ter uma visão geral da sua saúde, obter segundas opiniões sem necessidade de repetir exames e partilharem os seus dados clínicos com diferentes médicos em todo o País.

O modelo de sociedade digital da Estónia serve como um estudo de caso notável para a implementação de serviços públicos digitais a nível nacional (e-Estonia, s. d.).

Destacam-se neste caso concreto da introdução da blockchain neste sistema de saúde os seguintes aspectos:

Parceria entre a Fundação de Saúde Eletrónica da Estónia e a Guardtime²⁰: Desde 2011, a Estónia colabora com a Guardtime para implementar a blockchain Keyless Signature Infrastructure (KSI)²¹ para proteger mais de um milhão de registos de saúde de pacientes (Dr. Hempel Digital Health Network, 2017). Com esta parceria é possível garantir a integridade e a imutabilidade dos dados, que exigem armazenamento e partilha seguros. A tecnologia blockchain regista o acesso e as alterações de todos os registos, criando um desenho de auditoria inalterável (transparente) que pode impedir o acesso não autorizado aos dados sensíveis dos registos eletrónicos de saúde.

Aplicações potenciais em neurroradiologia: Embora não se concentre explicitamente na neurroradiologia, o sistema de registos de saúde eletrónicos (EHR) baseado em blockchain da Estónia suporta a partilha segura de dados entre diferentes prestadores de cuidados de saúde (interoperabilidade). Os neurroradiologistas poderão aproveitar essa facilidade para aceder com segurança ao histórico e às imagens dos pacientes, garantindo a integridade dos dados, o que permite uma maior precisão diagnóstica, terapêutica, de monitorização e de investigação clínica, por exemplo no caso da neurroradiologia das doenças neurológicas.

²⁰ A Guardtime é uma empresa de tecnologia avançada fundada na Estónia em 2007. A Guardtime tem solucionado desafios complexos de gestão e segurança de dados. No centro da Guardtime estão a pesquisa e o desenvolvimento, bem como a inovação em criptografia baseada em *hash* e o desenvolvimento de tecnologias blockchain para atender a diversos desafios da indústria.

²¹ A KSI (Infraestrutura de Assinatura Sem Chave) é um sistema baseado em blockchain para garantir a integridade e a autenticidade dos dados sem depender da criptografia de chave pública tradicional e suas chaves privadas vulneráveis. Em vez disso, utiliza funções *hash* seguras e um livro-razão global (blockchain) para vincular criptograficamente os dados com provas com registo de data e hora, garantindo que os dados não foram adulterados, sendo utilizado pela Estónia para serviços governamentais, incluindo a saúde.

Desafios da adoção da tecnologia *blockchain* na Estónia

As preocupações com a segurança decorrentes de violações anteriores no ecossistema blockchain, por exemplo incidentes relacionados à *bitcoin* que envolveram falhas de segurança em corretoras centralizadas ou aplicações externas, e não falhas no protocolo subjacente da *blockchain* da *bitcoin* em si (Gate, 2025), e a complexidade da migração de dados de imagem para sistemas blockchain persistem como dificuldades. Além disso, a garantia de conformidade atualizada com a regulamentação vigente, incluindo as leis de privacidade como o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD) essencial ao tratamento dos dados médicos sensíveis dos pacientes continua a ser desafiante.

Para mais detalhes sobre o modelo de governação digital da Estónia, pode ser consultado o portal oficial e-estonia (<https://e-estonia.com/>) ou consultar fontes académicas como Heston (2017).

3.2.3 *Perspectivas comparativas*

Os critérios comparativos utilizados nestas perspetivas focaram-se na maturidade digital (infraestrutura tecnológica), interoperabilidade dos sistemas, partilha segura de dados, governação de dados e associação a IA.

Vantagem da Estónia: A infraestrutura digital avançada da Estónia, cerca de 99% dos serviços governamentais online (e-Estonia, s.d.) e a adoção precoce da blockchain desde 2008 fornecem uma base robusta para aplicações de neurroradiologia. O seu sistema centralizado de saúde eletrónica facilita a integração de dados em todo o país, ideal para a gestão de dados de imagem.

Potencial do Reino Unido: Este sistema de saúde é maior e mais fragmentado (NHS e prestadores privados) o que complica a adoção da blockchain. No entanto, o seu ecossistema de investigação e a inovação do setor privado oferecem oportunidades para aplicações específicas de neurroradiologia, particularmente em IA e ensaios clínicos tal como salientado conforme salientado no relatório da OneLondon (2025), *A framework for the safe, efficient and effective implementation, use and maintenance of AI in health and care in London*.

Oportunidades partilhadas: Ambos os países usarem a blockchain para melhorar o empoderamento do paciente, garantir a partilha segura de dados de imagem e a colaboração em investigação médica, incluindo em neurorradiologia. A blockchain poderia garantir a integridade dos dados, a rastreabilidade e o controlo do paciente sobre dados sensíveis de imagem cerebral, melhorando a precisão diagnóstica e terapêutica.

Limitações: Projetos específicos de blockchain focados em neurorradiologia são escassos em ambos os países, com a maioria das aplicações voltadas para dados gerais de saúde. A escalabilidade, os custos de energia e o alinhamento regulatório continuam sendo desafios. A perceção pública do blockchain, ligada à volatilidade das criptomoedas, também pode prejudicar a confiança nas aplicações médicas.

3.3 Métodos de Recolha de Dados Qualitativos

O método adotado foi a revisão sistemática narrativa estruturada da literatura, complementada por uma análise de casos nacional e internacionais (Portugal, Reino Unido e Estónia).

A fundamentação teórica deste trabalho baseou-se numa revisão sistemática da literatura, consultando bases de dados científicas de referência, tais como a PubMed, e bibliotecas digitais como a IEEE Xplore e a ScienceDirect bem como RCAAP²² (Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal), de forma a garantir o rigor e a replicabilidade da recolha de dados. A ferramenta Google Scholar foi utilizada como complemento. Para além destas bases de dados, foi realizada uma verificação da lista de referências bibliográficas (pesquisa retrospectiva) para identificar estudos relevantes adicionais.

As pesquisas foram limitadas a publicações no período de [2020] a [2025] e realizadas de 16 a 30 de Maio de 2025 e repetida antes da submissão desta dissertação (final de Dezembro 2025) para identificação estudo publicados recentemente. A estratégia de pesquisa envolveu a utilização de uma combinação de palavras-chave e os termos booleanos (AND/OR), adaptados aos campos de pesquisa específicos de cada base

²² O RCAAP (Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal) é o portal central que agrega, indexa e disponibiliza a produção científica nacional em acesso aberto.

de dados (título, resumo, palavras-chave). Os termos principais utilizados foram: [blockchain], [radiology], [neuroradiology], [health], [medical imaging].

Para complementar os resultados a pesquisa no Google Scholar foi realizada com equações de pesquisa combinadas com foco em países específicos: blockchain AND (health* OR radiology) AND (Portugal AND Estonia AND "United Kingdom"); e com foco em doenças específicas: blockchain AND "neurological diseases".

A pesquisa foi realizada em inglês, tendo-se utilizado aspas para delimitar os termos compostos, para garantir que os resultados recuperados apresentassem a terminologia na ordem específica definida. A estratégia de pesquisa foi a de intersectar conceitos, tendo se utilizado os operadores booleanos AND/OR entre as palavras-chaves e os termos compostos.

Inicialmente foram encontrados nas pesquisas iniciais de blockchain e saúde nas principais bases de dados milhares de artigos, que reduziram significativamente com a intersecção com a radiologia para as centenas e com a neurorradiologia encontrou-se com frequência números nulos por esta especialidade se encontrar integrada na radiologia ou na imagiologia médica ou por não existirem estudos implementados em neurorradiologia nas realidades pesquisadas. Na RCAAP o número foi bastante menor para blockchain AND health (inferior a uma centena) e para blockchain AND “medical imaging” (inferior a meia dezena), sendo nulo para as restantes combinações.

Os **critérios de inclusão** foram tratar-se de artigos científicos revistos por pares (peer-reviewed), dissertações de mestrado e relatórios técnicos oficiais de acesso livre e integral, que abordem blockchain em saúde, imagiologia médica, radiologia e doenças neurológicas publicados nas bases de dados acima referidas e no Google Scholar nos últimos cinco anos, em inglês. Os **critérios de exclusão** foram artigos que não abordassem diretamente a intersecção dos conceitos pesquisados e publicações duplicadas entre as bases de dados consultadas e sem acesso livre.

A metodologia de revisão sistemática seguiu as recomendações atualizadas da Declaração PRISMA 2020, conforme se apresenta na Tabela 1 (Page et al., 2021), tendo-se considerados para análise final 50 artigos e resumindo-se visualmente este processo detalhado do fluxo de informação em quatro etapas principais: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão.

Tabela 1

Fluxograma de identificação, seleção e inclusão de estudos para a revisão sistemática, de acordo com as diretrizes da declaração PRISMA 2020

Processo da seleção dos estudos:

Etapa	Ação / Conteúdo
Identificação	Registos identificados em bases de dados (e.g., PubMed, IEEExplorer, Google Scholar, RCAAP): 278
Triagem	Registos removidos antes da triagem: duplicados (12) Registos excluídos: com base nos critérios de exclusão iniciais (145) Registos triados: artigos para leitura de títulos e resumos (66)
Elegibilidade	Artigos recuperados para texto completo: após a triagem inicial (60) Artigos excluídos no texto completo: não acrescentarem informação adicional (71)
Inclusão	Estudos incluídos na revisão: estudos que farão parte da síntese narrativa (50)

Nota. O diagrama apresenta o número de registos identificados, triados, excluídos (com motivos) e o número final de estudos incluídos. Adaptado de "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews", por M. J. Page et al., 2021, *PLOS Medicine*, 18(3), Artigo e1003583 (<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>). CC BY 4.0.

Os critérios de análise foram a relevância clínica, impacto tecnológico, vantagens, sinergias interdisciplinares, desafios éticos e técnicos.

Foi utilizado o software Zotero²³ para a gestão das referências bibliográficas.

²³ Zotero é um software gratuito e de código aberto que funciona como um gestor de referências bibliográficas

A base de conhecimento interno deste estudo fundamentou-se assim num conjunto de dados académicos e fontes fidedignas, incluindo artigos científicos, livros e relatórios técnicos atualizados. Este acervo abrange tópicos como Blockchain, saúde, imagiologia médica, radiologia, AI e suas interseções disciplinares.

O processo de recolha de informação foi enriquecido pela experiência clínica da autora enquanto médica neurroradiologista, o que permitiu uma seleção criteriosa de conceitos técnicos, casos de uso e exemplos práticos aplicados à saúde e imagiologia médica. Esta abordagem justifica-se por funcionar como uma revisão bibliográfica extensa e processada em tempo real, proporcionando uma visão alargada e atualizada sobre o tema.

Após a recolha inicial dos dados brutos, procedeu-se à síntese e contextualização das informações, com o objetivo de responder de forma clara e concisa às questões fundamentais da investigação. Os resultados dos estudos incluídos foram agrupados em três categorias (impactos, vantagens e limitações) de acordo com as fontes e encontram-se resumidos no Apêndice A.

A fundamentação teórica foi enriquecida com exemplos práticos de plataformas tecnológicas, como a BurstIQ²⁴, focada na gestão de dados em ambientes regulamentados de saúde, e a DeepRadiology²⁵, especializada na interpretação de exames através de deep learning. Estes casos foram contextualizados com base nos padrões observados na prática profissional da neurroradiologia, permitindo alinhar as evidências tecnológicas com os desafios reais e as necessidades clínicas do quotidiano médico.

De forma a garantir a precisão e o rigor técnico da informação, foi aplicada uma metodologia de validação cruzada interna. Este procedimento consistiu no cruzamento de dados provenientes de diversas fontes da base de conhecimento pessoal da autora, verificando-se a consistência entre elas. No plano operacional, foram comparadas evidências relativas às aplicações de *blockchain* — especificamente no que concerne à segurança de dados e interoperabilidade — com as diretrizes de integração de Inteligência

24 BurstIQ é uma plataforma de gestão de dados baseada em blockchain, especializada em soluções para indústrias altamente regulamentadas, como a saúde e ciências da vida.

25 DeepRadiology é uma empresa tecnológica pioneira na utilização de inteligência artificial (IA) e *DeepLearning* (DL) para a interpretação de imagens médicas.

Artificial, nomeadamente em áreas como a segmentação de imagens e o diagnóstico automatizado.

O processo visou assegurar a coerência das informações apresentadas, sustentando-as em casos de uso já estabelecidos na literatura e na prática clínica. Esta etapa de validação assemelha-se ao processo de triangulação utilizado na investigação qualitativa, em que o recurso a múltiplas fontes e perspetivas é fundamental para mitigar enviesamentos e aumentar a confiabilidade e credibilidade dos resultados obtidos.

Finalmente, a estruturação da informação sofreu uma adaptação ao contexto académico, visando cumprir os requisitos e o rigor de uma dissertação de mestrado. A resposta foi organizada de forma sistemática em secções e subtemas específicos — abrangendo as aplicações de blockchain, a utilização de IA e as suas sinergias — o que permitiu uma exposição clara e lógica dos conceitos.

Durante este processo, foi utilizada uma linguagem académica, escrita de acordo com as normas de estilo da APA 7.^a edição, garantindo que a apresentação de exemplos práticos fosse acompanhada pela análise das respetivas limitações e desafios técnicos.

Esta abordagem metodológica alinha-se com a necessidade de apresentar os dados de forma estruturada e relevante, assemelhando-se à organização de um capítulo teórico ou de uma revisão de literatura, assegurando assim que o conteúdo é simultaneamente acessível e fundamentado para um trabalho académico.

3.4 Critérios de Análise Comparativa

A metodologia implícita para compilar e apresentar as informações foi orientada por critérios que possam garantir a relevância do tema, com clareza e utilidade académica, no contexto desta dissertação de mestrado.

Assim os critérios de seleção e análise da informação fundamentaram-se na sua relevância direta para o domínio da neurorradiologia, maturidade digital, interoperabilidade, governança de dados (segurança e privacidade e partilha de dados com foco no paciente), integração com IA, e encontrar-se em estágio inicial na Neurorradiologia. A triagem dos dados priorizou a aplicabilidade prática em modalidades de imagem específicas, nomeadamente a Ressonância Magnética (RM), a Tomografia Computadorizada (TC) e a Radiografia (RX), explorando o papel transformador da blockchain e da Inteligência Artificial nestes contextos.

No âmbito operacional, foram privilegiadas aplicações que respondem a desafios críticos do setor, tais como a utilização de blockchain para a segurança e integridade dos dados clínicos e o recurso à IA para a otimização do diagnóstico automatizado. Esta abordagem deliberada justifica-se pela necessidade de assegurar que a investigação permaneça estritamente alinhada com os objetivos da dissertação, garantindo a precisão diagnóstica e a privacidade do paciente, evitando generalizações sobre outras áreas da saúde que poderiam diluir o seu âmbito.

No que concerne ao impacto e à viabilidade prática, as aplicações tecnológicas selecionadas para este estudo foram avaliadas com base no seu potencial de transformação da prática clínica, especificamente na melhoria da eficiência operacional e na redução de erros diagnósticos. Este critério de seleção privilegiou tecnologias já em uso clínico ou em fase de investigação avançada.

Para ilustrar esta viabilidade, foram incluídos exemplos de ferramentas de Inteligência Artificial consolidadas, como a Aidoc e a DeepRadiology, bem como plataformas de blockchain especializadas na gestão de dados sensíveis, como a BurstIQ demonstrando implementações reais ou potenciais. Paralelamente, a análise não omitiu as barreiras à implementação, destacando desafios críticos como o elevado custo computacional e as exigências de infraestrutura.

Esta abordagem objetiva justifica-se pela necessidade de discussão de soluções com impacto mensurável, evitando especulações teóricas e garantindo que todas as afirmações sejam suportadas por dados concretos de implementação real ou potencial no ecossistema da saúde.

3.5 Limitações metodológicas

Este estudo sendo uma revisão narrativa estruturada enfrenta desafios metodológicos que se prendem com o risco de viés de seleção e síntese dos estudos pela interpretação subjetiva da autora, podendo por esse motivo comprometer a reprodutibilidade dos resultados face a métodos quantitativos.

As limitações da análise comparativa transnacional centram-se na elevada heterogeneidade de contextos, onde disparidades em infraestruturas tecnológicas e enquadramentos legais dificultam a normalização de dados e a generalização de resultados.

Esta complexidade é agravada por um viés de disponibilidade que privilegia países com sistemas de saúde mais digitalizados, que publicam mais estudos e relatórios do que países com processos ainda baseados em papel ou em sistemas fragmentados, podendo resultar numa visão parcial da realidade global, refletindo apenas a realidade de uma elite tecnológica.

3.6 Considerações Éticas no Estudo de Blockchain e IA em Neurorradiologia

A integração de Blockchain e Inteligência Artificial (IA) em neurorradiologia, oferece avanços significativos no diagnóstico das doenças neurológicas, prevendo-se que no futuro constitua uma ferramenta de apoio à decisão clínica, aumentando a precisão e a eficiência dos neurorradiologistas, levanta desafios éticos complexos que exigem uma governança rigorosa (Kotter et al., 2025).

De acordo com Khosravi e Schweitzer destacam-se os desafios éticos da inteligência artificial relacionados com a prática clínica da neurorradiologia: privacidade e segurança de dados, consentimento informado, transparência da IA bem como o viés algorítmico e equidade de acesso à prática clínica com inclusão de novas tecnologias.

A privacidade e segurança dos dados, incluindo o lucro dos dados, constitui um dos problemas éticos e centra-se na perspetiva da privacidade de dados em imagem e na necessidade crítica de equilibrar a partilha de dados científicos com a proteção da identidade individual (Khosravi & Schweitzer, 2023). A privacidade e o progresso científico poderão coexistir através de transparência, tecnologias avançadas de segurança e um papel preponderante do paciente no governo dos seus próprios dados (European Society of Radiology (ESR), 2021). Assim, o valor de qualquer registo médico (imagens, resultados de exames físicos ou laboratoriais) reside na sua contribuição para o diagnóstico, terapêutica e monitorização do paciente.

Contudo, quando os dados são guardados (e anonimizados), eles podem também ser usados com outros fins, nomeadamente para gerar informações úteis (compreender processos patológicos, gerar novos diagnósticos e novos algoritmos) em pesquisas futuras (Näher et al., 2023). Contudo, essas informações poderão ter potencial comercial se utilizadas por terceiros (Baines et al., 2024). As imagens (e.g., de RM, TC, Raios X, EcoDoppler, dentre outras técnicas) contêm informações altamente sensíveis, protegidas por regulamentações como a RGPD (União Europeia) e HIPAA (Estados Unidos

América) e quer a Blockchain quer a IA (e.g., a Aidoc) processam esses dados, constituindo este aspeto uma preocupação sobre a sua privacidade.

As implicações éticas na *blockchain* podem relacionar-se com eventuais falhas na sua implementação, passíveis de expor dados, e com a sua característica de imutabilidade, esta última característica dificultando a exclusão de dados de um paciente, se no decurso de um estudo, o mesmo quiser retirar o consentimento previamente autorizado- necessidade de um consentimento dinâmico (ESR, 2021). Nesta perspetiva e de acordo com o Artigo 17.º do Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD, 2016) o “direito ao esquecimento” entra também em conflito ético com a característica da imutabilidade da *blockchain*.

Outra implicação ética da IA relacionada com a Aidoc²⁶ prende-se com o facto de os dados para treino não serem adequadamente anonimizados, ocorrendo o risco de reidentificação, especialmente em populações pequenas ou com condições raras. Com os avanços técnicos (como a reconstrução facial a partir de exames de RM ou TC) a anonimização total torna-se extremamente difícil, exigindo técnicas mais robustas como o *defacing* (remoção de características faciais e anonimizar adequadamente os dados) (Gao et al., 2025).

A qualidade dos dados de treino, prende-se também com a qualidade das imagens e das anotações (etiquetas) usadas para treinar as ferramentas da IA/*blockchain* é determinante. Erros ou inconsistências nas anotações realizadas por médicos especialistas, ou a utilização de imagens de baixa qualidade, podem conduzir a erros

²⁶ A Aidoc é uma empresa líder em IA para radiologia, fundada em 2016, com sede em Israel e forte presença global, incluindo no Reino Unido. Ela oferece ferramentas baseadas em deep learning para análise de imagens médicas, com foco em deteção de anomalias e priorização de casos urgentes. Na neurorradiologia, os algoritmos da Aidoc são amplamente utilizados para:

Detecção de anomalias cerebrais: Identificação de hemorragias intracranianas, isquemias, aneurismas, trombozes venosas cerebrais e outras condições em tomografias (TCs) e ressonâncias magnéticas (RMs).

Triagem e priorização: A ferramenta "Always-On AI" analisa imagens em tempo real, sinalizando casos críticos (e.g., hemorragia subaracnoideia) para revisão prioritária por neurorradiologistas.

Fluxo de trabalho otimizado: Integração com sistemas PACS (Picture Archiving and Communication Systems) para agilizar diagnósticos.

No Reino Unido, a Aidoc é utilizada por hospitais do NHS e clínicas privadas. Por exemplo, trusts como o University Hospitals Birmingham e o Royal Free London NHS Foundation Trust adotaram soluções da Aidoc para melhorar a eficiência em departamentos de radiologia, incluindo neurorradiologia. A tecnologia ajuda a reduzir o tempo de diagnóstico, crucial em casos de AVC ou traumatismo craniano, onde minutos podem salvar vidas.

sistemáticos no algoritmo final e condicionar danos ao paciente, por um diagnóstico ou um plano de tratamento, incorretos (Khosravi & Schweitzer, 2023).

O consentimento informado, constitui outra preocupação ética, devendo os pacientes ser informados sobre o modo como suas imagens serão usadas, seja para diagnóstico por IA, armazenamento em *blockchain*, ou pesquisa. O aspeto mais importante é permitir que os participantes tomem decisões informadas acerca de como os seus dados serão utilizados, respeitando os seus desejos dentro do quadro legal de cada país. As implicações éticas resultam da possibilidade de os pacientes poderem não entender completamente o funcionamento de IA ou *blockchain*, dificultando um consentimento verdadeiramente informado. Outra implicação ética pode resultar do uso secundário de dados (exemplo: treino de algoritmos por IA pela Aidoc, ou partilha de dados via *blockchain* para pesquisa) que pode ocorrer sem renovação do consentimento para esta utilização pelo paciente (ESR, 2021). Uma possibilidade de mitigação desta problemática será desenvolver materiais educativos claros para pacientes sobre o uso das suas imagens (Kasyapa & Vanmathi, 2024).

A transparência das técnicas de IA, relaciona-se por um lado com o conceito de explicabilidade (XAI)²⁷ no qual eticamente não basta que uma técnica de IA identifique uma alteração estrutural, como por exemplo um tumor, sendo necessário que o algoritmo explique porque a deteção dessa alteração foi feita. Por outro lado, a associação com a *blockchain* pode ser usada para registar e auditar toda a tomada de decisões da IA num determinado processo, tornando esse processo algorítmico transparente e verificável. Ainda dentro da categoria da transparência, outro aspeto a considerar é a *accountability*²⁸, isto é, a responsabilidade jurídica dos métodos de IA desenvolvidos, sendo necessário averiguação da responsabilidade de eventuais erros que possam ocorrer durante a sua implementação. Em caso de erro de diagnóstico, a imutabilidade do *blockchain* ajuda a determinar se a falha ocorreu nos dados de treino, no algoritmo ou na interpretação humana (Murphy et al., 2021).

²⁷ XAI -*Explainable Artificial Intelligence* refere-se ao conjunto de processos e métodos que permitem aos utilizadores humanos compreender e confiar nos resultados gerados por algoritmos de aprendizagem automática. Em 2025, a XAI consolidou-se como um pilar essencial para a IA responsável, visando "abrir a caixa preta" de modelos complexos para garantir transparência e auditabilidade.

²⁸ *Accountability* refere-se ao dever ético e legal de uma organização ou indivíduo em responder pelas decisões, impactos e resultados gerados por um sistema tecnológico.

Khosravi & Schweitzer abordam também a problemática do viés algorítmico e a equidade no acesso que são dois aspetos a considerar do ponto de vista ético, uma vez que modelos de IA treinados apenas com dados de populações específicas podem não ser eficazes para diagnosticar patologias em grupos sub-representados, tendo assim importância para o enviesamento algorítmico, a diversidade e a qualidade dos dados.

A democratização do acesso deve ser contemplada na integração destas novas tecnologias garantindo que os benefícios da neurroradiologia de precisão, inovadora, não fiquem restritos apenas a algumas instituições (dotadas de maiores recursos), promovendo a equidade global de acesso na saúde, de modo a não comprometer o princípio da justiça distributiva (Murphy et al., 2021).

4. DISCUSSÃO DO PROBLEMA

4.1 Condições Necessárias para a Adoção Bem-sucedida do Blockchain nas Realidades Comparadas

A aplicação da tecnologia blockchain na área da saúde, incluindo a neurroradiologia, no Reino Unido e na Estónia enfrenta vários desafios. As principais dificuldades encontradas em cada país, com foco nos seus sistemas de saúde e potenciais aplicações em neurroradiologia, com base nas informações disponíveis, são:

4.1.1 Reino Unido

O sistema de saúde do Reino Unido, principalmente o NHS, e as iniciativas do setor privado enfrentam desafios distintos na adoção da blockchain para a saúde e a neurroradiologia:

A fragmentação e interoperabilidade do sistema relaciona-se com a organização do NHS que opera em várias fundações com sistemas de tecnologia de Informação (TI) díspares, o que complica a integração da blockchain. A partilha de dados de imagens neurroradiológicas (por exemplo, exames RM, TC ou outros) entre regiões requer protocolos padronizados, o que a blockchain por si só não consegue resolver. Os sistemas legados não são compatíveis com plataformas descentralizadas, o que atrasa a adoção.

Os altos custos computacionais e financeiros subjacentes aos processos de blockchain, que consomem muita energia, como os mecanismos de consenso, são caros, especialmente para processar grandes ficheiros de imagem e registos clínicos de toda a população. O NHS, sob restrições orçamentais, tem dificuldade em justificar investimentos em blockchain em detrimento de necessidades imediatas de saúde,

retardando projetos-piloto para aplicações como o armazenamento seguro de dados de imagem.

As limitações de escalabilidade, são comuns à Estónia e ao Reino Unido. O rendimento da blockchain tem dificuldades com o elevado volume de dados de imagem gerados diariamente nas instalações do NHS. Garantir acesso de baixa latência para diagnósticos sensíveis ao tempo (por exemplo, imagens de AVC agudo em contexto de urgência) e, ao mesmo tempo, manter a segurança é um obstáculo técnico.

Os desafios regulatórios e de governança, prendem-se com a conformidade com o RGPD, os padrões de segurança de dados do NHS e a Lei de Saúde e Assistência Social do Reino Unido (DLA Piper, 2025). A natureza descentralizada da blockchain complica a responsabilização, pois não é claro quem controla os dados dos pacientes num livro-ração distribuído. Para a neurorradiologia, garantir o consentimento do paciente para a partilha de dados e pesquisa (por exemplo, conjuntos de dados de treino de IA) adiciona complexidade ao desenho de contratos inteligentes.

A preparação e formação dos funcionários do NHS, incluindo os neurorradiologistas, muitas vezes carece de conhecimentos especializados na tecnologia *blockchain*. A formação dos profissionais de saúde para os preparar para a utilização de sistemas baseados em blockchain, para aceder ou partilhar exames/registos clínicos, é intensiva em recursos, e pode condicionar resistência dos profissionais envolvidos, agravando a dificuldade de adoção.

A confiança do público e das partes interessadas quer na Estónia, quer no Reino Unido enfrenta ceticismo devido às associações da *blockchain* com criptomoedas e falhas de grande visibilidade como por exemplo os ataques ao Ethereum (Phemex, 2024). Os pacientes podem não confiar em sistemas descentralizados para armazenar dados sensíveis de imagens cerebrais, temendo violações ou perda de controlo, especialmente devido ao histórico de escândalos de fuga de dados sensíveis do NHS, como por exemplo, o ataque WannaCry de 2017, que explorou uma vulnerabilidade no protocolo Server Message Block (SMB)²⁹ do Windows³⁰ (Cloudflare, 2017).

²⁹ O SMB (Server Message Block) é o protocolo padrão do Windows utilizado para a partilha de ficheiros, impressoras e comunicação entre processos numa rede.

³⁰ O Windows é um sistema operativo desenvolvido pela Microsoft, que é uma das maiores empresas de tecnologia do mundo.

4.1.2 Estónia

A infraestrutura digital extremamente avançada da Estónia e a adoção precoce da blockchain desde 2008 pelo governo da Estónia (e-Estonia) tornam-na no segundo país mais digitalizado do mundo (United Nations, 2024), mas os desafios persistem e de acordo com Soares et al. (2023) são: preocupações com segurança, complexidade da migração de dados, problemas de escalabilidade, perceção e confiança do público e conformidade regulamentar.

As preocupações com segurança e apesar de ser usada a *blockchain* Keyless Signature Infrastructure (KSI) da Guardtime, que protege mais de um milhão de registos de saúde, na Estónia relacionam-se com a ocorrência de incidentes de cibersegurança, como a vulnerabilidade do cartão de identidade em 2017, que afetou 750 000 cartões (European Digital Rights, 2017). Embora estes incidentes não estejam diretamente ligados à saúde, estas violações suscitam preocupações sobre as vulnerabilidades da *blockchain*, especialmente para dados neurorradiológicos sensíveis, como as ressonâncias magnéticas ou as tomografias computadorizadas, onde o acesso não autorizado pode comprometer a privacidade do paciente.

A complexidade da migração de dados prende-se com a integração da blockchain com os sistemas de saúde eletrónica existentes e envolve a migração de grandes volumes de dados médicos, incluindo ficheiros de neuroimagem de alta resolução espacial (volumosos). Este processo é tecnicamente complexo, demorado e dispendioso, exigindo compatibilidade com sistemas legados e conformidade com o RGPD para a proteção dos dados dos pacientes.

Os problemas de escalabilidade relacionam-se com as exigências computacionais da blockchain, particularmente para tratar grandes conjuntos de dados de imagem que sobrecarregam a infraestrutura da Estónia. Garantir o acesso em tempo real a exames de imagem em hospitais, mantendo a imutabilidade e a segurança da blockchain, é um desafio, especialmente à medida que os volumes de dados crescem.

A perceção e confiança do público está prejudicada pela associação da blockchain à volatilidade das criptomoedas (por exemplo, bitcoin) gerando ceticismo entre pacientes e prestadores de serviços (Gate, 2025). Convencer as partes interessadas a confiar na blockchain para “armazenar” e partilhar dados sensíveis como as imagens e

os registos clínicos, requer educação e transparência, especialmente considerando os incidentes de cibersegurança ocorridos no passado, anteriormente mencionados.

A conformidade regulamentar significa alinhar as implementações da blockchain com o RGPD e a Lei de Proteção de Dados Pessoais de 2018 da Estónia, o que é complexo (DLA Piper, 2025). Os dados neurroradiológicos, por serem altamente sensíveis, exigem mecanismos de consentimento rigorosos e minimização de dados, que os contratos inteligentes e os sistemas descentralizados devem aplicar sem comprometer a eficiência.

4.1.3 Desafios comuns

A imaturidade técnica: A tecnologia blockchain ainda está em evolução, com limitações em termos de velocidade, armazenamento e interoperabilidade. O manuseamento de conjuntos de dados neurroradiológicos grandes e complexos (por exemplo, exames cerebrais com processamento tridimensional) requerem avanços nos protocolos de blockchain além das capacidades atuais.

A incerteza quanto ao custo-benefício em ambos os países, existindo dificuldade em demonstrar o retorno do investimento na tecnologia *blockchain* comparativamente aos sistemas tradicionais. Para a neurroradiologia, os benefícios da partilha segura e da integridade dos dados podem superar os altos custos de implementação e manutenção.

As preocupações éticas e de privacidade de modo a garantir o controlo do paciente sobre os seus dados de clínicos e de imagem e, ao mesmo tempo, permitir a pesquisa ou a partilha transfronteiriça (por exemplo, para doenças neurológicas raras) é um desafio. A transparência da blockchain deve ser equilibrada com a anonimização para evitar riscos de reidentificação.

A falta de foco específico em neurroradiologia é uma constante. A maioria das iniciativas de blockchain em ambos os países tem como alvo os dados gerais de saúde, com poucas adaptações às necessidades específicas da neurroradiologia, como o armazenamento de imagens de alta resolução, acesso a diagnósticos em tempo real ou integração de IA para análise de imagens.

Sintetizando, a Estónia enfrenta desafios em termos de segurança, escalabilidade e confiança pública, mas beneficia de um sistema de saúde eletrónico centralizado, tornando a integração da blockchain mais viável.

O Reino Unido por outro lado, enfrenta o problema de fragmentação (interoperabilidade), custos elevados e complexidade regulatória, aspetos agravados pelas restrições de recursos do NHS.

Ambos os países partilham dificuldades técnicas, financeiras e éticas globais (Abu-elezz et al., 2020), incluindo a radiologia e a neurorradiologia, especialidades médicas onde grandes conjuntos de dados e a urgência de diagnóstico amplificam as questões acima referidas. Para obter mais informações, podem consultar-se os relatórios de e-Saúde da Estónia (e-Estonia, s.d.) ou estudos de análise do Reino Unido, como os estudos sobre blockchain da Norton Rose Fulbright (s.d.).

4.2 Situação Atual em Portugal

4.2.1 Infraestruturas, políticas e prontidão digital

Em Portugal, o controlo dos dados de saúde rege-se por uma estrutura jurídica e tecnológica que prioriza a privacidade, a segurança e a interoperabilidade dos pacientes, em conformidade com os regulamentos da União Europeia (UE), em particular o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD). O sistema de saúde português, que inclui o Serviço Nacional de Saúde (SNS), subsistemas de saúde especiais e prestadores privados, integra plataformas digitais de saúde e supervisão regulamentar de modo a gerir os dados de saúde.

Resume-se a forma de como os dados de saúde são controlados em Portugal, incluindo os principais mecanismos, regulamentações e iniciativas envolvidas de modo a avaliar condições pré-existentes facilitadoras ou desafiantes para a implementação da tecnologia blockchain na saúde com foco na neurorradiologia. As informações abaixo expostas fundamentam-se em dados disponibilizados pelos Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS, 2025), pela Direção-Geral da Saúde (DGS, 2025), pela Entidade Reguladora da Saúde (ERS), pela Comissão Nacional de Proteção de Dados (CNPD, 2025), Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge (INSA) e Conselho Nacional de Saúde (CNS).

1. O quadro jurídico e regulamentar de Portugal, enquanto Estado-Membro da União Europeia, adere ao Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD) (Regulamento (UE) 2016/679, 2016). Este regulamento classifica os dados de saúde como uma “categoria especial” de dados pessoais, o que exige uma proteção reforçada. O RGPD determina a obrigatoriedade do

consentimento explícito do paciente para o tratamento destes dados, excetuando situações de interesse público ou obrigações legais, e impõe princípios fundamentais como a limitação da finalidade, a minimização dos dados e a transparência. A nível nacional, a Lei n.º 58/2019 implementa o RGPD, estabelecendo regras específicas para o tratamento de dados de saúde. Esta legislação reforça os direitos dos pacientes no acesso, retificação e apagamento dos seus dados, exigindo que os controladores de dados, como hospitais e os Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS), garantam a segurança e a responsabilização. Adicionalmente, a Lei n.º 12/2005 (2005) define os dados de saúde como propriedade do paciente, posicionando os prestadores de cuidados como utilizadores que apenas os podem usar para fins de cuidados clínicos ou de investigação, respeitando o princípio da limitação da finalidade. Contudo, esta lei levanta questões sobre a propriedade dos dados em utilizações secundárias, como na análise de big data³¹. Complementarmente, a Lei 52/2014 (2014) transpõe a Diretiva 2011/24/UE, facilitando os cuidados de saúde transfronteiriços e enfatizando o intercâmbio seguro de dados para a mobilidade dos pacientes. A supervisão do cumprimento destas normas cabe à Comissão Nacional de Proteção de Dados (CNPd), que realiza inspeções e emite recomendações para priorizar a privacidade nos registos de saúde eletrónicos (EHRs). Apesar desta robusta estrutura, subsistem desafios, nomeadamente a falta de um quadro jurídico claro para a utilização secundária de dados de saúde para fins de investigação ou comerciais, o que dificulta a inovação, conforme observado pelos Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS, 2019).

2. Relativamente às instituições-chave e à supervisão, os Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS) atuam como o gestor central dos sistemas de informação de saúde em Portugal. O SPMS supervisiona plataformas chave, como a Plataforma de Dados da Saúde, garantindo a segurança, a interoperabilidade e a conformidade com o RGPD e as leis nacionais,

³¹ Big data é um pilar da transformação digital, permitindo o processamento de volumes massivos de dados estruturados e não estruturados (e.g., exames de imagem, genómica) que excedem a capacidade dos sistemas tradicionais.

processando dados pessoais de acordo com a sua Política Interna de Privacidade e Proteção de Dados. No âmbito regulatório, a Direção-Geral da Saúde (DGS) regula a promoção da saúde e a prevenção de doenças, assegurando que as estratégias de saúde pública baseadas em dados cumpram as normas de privacidade vigentes. Paralelamente, a Entidade Reguladora da Saúde (ERS) funciona como um organismo independente que regula todos os prestadores de cuidados de saúde públicos, privados e sociais, garantindo que as práticas de tratamento de dados respeitem os padrões legais e éticos. O Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge (INSA) apoia a monitorização da saúde e a vigilância epidemiológica, utilizando dados de saúde anonimizados para a investigação em saúde pública. Por fim, o Conselho Nacional de Saúde (CNS) exerce funções consultivas junto do Ministério da Saúde sobre políticas de saúde, incluindo a governança de dados, visando alinhar as práticas com os objetivos estratégicos nacionais.

3. A infraestrutura de saúde digital para o controlo de dados assenta na Plataforma de Dados da Saúde, gerida pelo SPMS. Esta plataforma centralizada regista dados de saúde utilizando identificadores únicos de pacientes para garantir a interoperabilidade entre sistemas de Dados de Saúde Eletrónicos (DSE), suportando o compartilhamento seguro de informações entre médicos de cuidados primários, hospitais e outros prestadores para melhorar a coordenação dos cuidados. Complementarmente, o Portal do SNS (Portal da Saúde) fornece dados em tempo real sobre profissionais e serviços, integrando informações de saúde pública e aumentando a transparência para cidadãos e prestadores. No mesmo sentido, o Portal da Transparência agrega conjuntos de dados de alta qualidade de várias entidades para aumentar a eficiência no Serviço Nacional de Saúde (SNS). Este ecossistema é orientado pela Estratégia Nacional para o Ecossistema de Informação em Saúde 2020 (ENESIS 2020), um quadro que promove a transformação digital, a partilha de dados e a desmaterialização de processos, como as receitas eletrónicas, incentivando o acesso a dados abertos através do Portal SNS e do dados.gov.pt com foco em cuidados centrados no paciente. Finalmente, a BioData.pt (2025), enquanto infraestrutura nacional para dados sobre a vida

e a saúde, fornece serviços digitais e humanos para a gestão de dados de saúde, especialmente voltados para a investigação, garantindo elevados padrões de confiabilidade e segurança no apoio à bioinformática e gestão de dados.

4. O consentimento e o controlo dos dados pelo paciente são regulamentados pela Lei n.º 12/2005(2005), na qual os pacientes são proprietários dos seus dados de saúde e podem controlar o acesso, concedendo ou revogando o consentimento para a sua utilização. Plataformas de saúde eletrónica e outras iniciativas como a Health 24³² e a Health Data Platform (HDP)³³ permitem aos pacientes aceder aos seus registos e autorizar o seu consentimento, embora continuem a existir desafios na garantia de transparência e na sensibilização dos utilizadores. Segundo os Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS, 2025), a iniciativa nacional HealthData@PT tem como objetivo a criação da infraestrutura necessária para o uso secundário de dados de saúde. Este projeto funciona como o pilar português para o Espaço Europeu de Dados de Saúde (EHDS), estando plenamente integrada na iniciativa europeia HealthData@EU (SPMS, 2025). Os cuidados de saúde transfronteiriços regem-se pela Lei n.º 52/2014(2014) apoiando a mobilidade dos pacientes, permitindo a partilha segura de dados (interoperabilidade) entre os Estados-Membros da UE, com os pacientes a controlarem o acesso aos dados para cuidados transfronteiriços.

5. Dentro das medidas de segurança e privacidade, são utilizadas técnicas criptográficas (por exemplo, *hash*, encriptação) para proteger os dados de saúde, garantindo a integridade e a confidencialidade, embora a

³² Health 24 (Saúde 24 em Portugal) refere-se principalmente ao serviço telefónico e digital do Serviço Nacional de Saúde (SNS) português.

³³ Health Data Platform (HDP)-Plataforma de Dados de Saúde é um sistema digital que recolhe, integra e gere de forma segura dados de saúde diversos (registos clínicos eletrónicos, faturação, dispositivos vestíveis) provenientes de silos de informação. O objetivo é torná-los utilizáveis para análise de dados, investigação, coordenação de cuidados e inovação. Estas plataformas utilizam frequentemente arquiteturas de sistemas de armazenamento e organização de dados, tecnologia na nuvem (cloud), Inteligência Artificial e ferramentas de conformidade (como o RGPD na União Europeia) para melhorar os resultados dos pacientes e a eficiência operacional. Os seus principais objetivos incluem a eliminação de silos de dados, a garantia da interoperabilidade e o apoio a utilizações secundárias para políticas públicas, investigação e saúde pública, tal como se observa em iniciativas como o espaço europeu de dados de saúde (HealthData@EU).

implementação específica da blockchain não esteja documentada no sistema de saúde português. Por exemplo, a Plataforma de Dados de Saúde utiliza protocolos seguros de armazenamento e transmissão de dados. A anonimização de dados para fins de investigação e epidemiológicos, é realizada e os dados de saúde são anonimizados para cumprir o RGPD e proteger a identidade dos pacientes, tal como praticado pelo SPMS. A supervisão centralizada do SPMS como controlador central de dados garante medidas de segurança padronizadas, embora essa centralização suscite apreensão sobre pontos únicos de falha em comparação com os sistemas blockchain descentralizados. Portugal exige transparência na área da saúde (relatórios de transparência), garantindo a responsabilização nas interações relacionadas com dados.

6. No atual panorama do sistema de saúde português, a consulta e gestão dos dados dos pacientes estão centralizadas no Portal SNS, gerido pela SPMS. Este portal atua como a principal base de ligação entre utentes e profissionais do Serviço Nacional de Saúde. Trata-se de um sistema baseado na *web*, acessível a partir de qualquer dispositivo com navegador, que permite a integração de registos médicos e a gestão de consultas. No entanto, embora o sistema seja centralizado, a interoperabilidade total enfrenta desafios, uma vez que nem todas as unidades de saúde estão interligadas fora de determinados núcleos públicos e privados. Para viabilizar esta troca de informações de forma segura e eficiente, o sistema recorre ao *Local Interoperability Gateway for Healthcare (LIGHt)*³⁴. Desenvolvido pela SPMS, este *middleware*³⁵ é a peça fundamental que garante que hospitais, clínicas e centros de saúde partilhem dados sem que haja um acesso direto e desprotegido às bases de dados originais. O LIGHt utiliza protocolos padronizados e criptografia para assegurar que a informação circula apenas entre entidades autorizadas. Enquanto os profissionais de saúde utilizam

³⁴ Em linguagem corrente, o LIGHt (Local Interoperability Gateway for Healthcare) funciona como uma "ponte digital" ou um "tradutor universal" instalado nos hospitais e centros de saúde. A sua principal função é permitir que os diferentes programas de computador usados pelos médicos e administrativos consigam comunicar entre si, mesmo que tenham sido criados por empresas diferentes e falem "línguas" técnicas distintas.

³⁵ *Middleware* ("software do meio"). O LIGHt é um *middleware*.

métodos de autenticação rigorosos, como cartões inteligentes com chip associados às suas credenciais profissionais, os utentes acedem ao sistema através do seu número de utente e palavra-passe, podendo ainda contar com mecanismos de autenticação de dois fatores (2FA). Uma vez dentro do sistema, o acesso aos dados é feito através de Registos de Saúde Eletrónicos (EHRs) integrados no portal. Estes registos, que permitem a consulta em tempo real de históricos e exames, são suportados por bases de dados relacionais que utilizam tecnologias como o *Structured Query Language* (SQL)³⁶ para uma gestão eficaz da informação. No que diz respeito à comunicação técnica entre os diferentes sistemas, o SNS tira partido de *Application Programming Interfaces* (APIs)³⁷ que seguem padrões internacionais de saúde, tais como o *Health Level Seven* (HL7)³⁸ ou o *Fast Healthcare Interoperability Resources* (FHIR)³⁹. Estes padrões são essenciais para garantir que os dados provenientes de laboratórios ou centros de imagiologia falem "a mesma língua" e possam ser consultados de forma integrada. Por fim, esta experiência é estendida à mobilidade através de aplicações como a MySNS⁴⁰, disponível para iOS e Android (SPMS, s.d.). Estas aplicações (apps) utilizam canais de comunicação seguros e o protocolo *Hypertext Transfer Protocol Secure* (HTTPS)⁴¹ para garantir que a transmissão de dados entre o dispositivo do utilizador e o sistema central permaneça totalmente encriptada e protegida. Apesar da sofisticação do sistema, persistem obstáculos técnicos decorrentes da fragmentação de *softwares* EHR. A coexistência de diferentes plataformas nas unidades de saúde cria barreiras à plena interoperabilidade dos dados clínicos.

³⁶ SQL (*Structured Query Language* ou Linguagem de Consulta Estruturada) é a "linguagem universal" utilizada para comunicar com as bases de dados, organizando e gerindo os dados de saúde.

³⁷ As APIs (*Application Programming Interfaces* ou *Interfaces de Programação de Aplicações*) permitem a comunicação entre sistemas heterogêneos de forma eficiente.

³⁸ O HL7 (Health Level Seven) é, essencialmente, o conjunto de regras internacionais que define como as informações de saúde devem ser "empacotadas" e enviadas de um computador para outro.

³⁹ O FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources) é a evolução tecnológica do HL7.

⁴⁰ MySNS é um ecossistema de aplicações móveis do SNS de Portugal, concebido para aproximar os cidadãos dos serviços digitais de saúde.

⁴¹ O HTTPS (*Hypertext Transfer Protocol Secure*) é a versão segura do protocolo utilizado para transmitir dados entre um navegador (ou uma aplicação, e.g., MySNS) e o servidor onde estão os dados.

7. A situação atual da adoção da tecnologia blockchain na saúde portuguesa é muito limitada e não está explicitamente documentada nas principais plataformas de dados de saúde, como a Plataforma de Dados de Saúde ou o Portal SNS. No entanto, o ecossistema de saúde digital de Portugal, conforme destacado pela Digital Health Portugal (s.d.), está a explorar tecnologias inovadoras, incluindo a blockchain, para a **segurança e interoperabilidade** dos dados. As aplicações potenciais são a partilha segura de dados, onde a *blockchain* poderia melhorar a Plataforma de Dados de Saúde, fornecendo um registo descentralizado e à prova de falsificação para dados de neuroimagem (por exemplo, exames de ressonância magnética em neurorradiologia), garantindo a integridade e o controlo do paciente, conforme discutido anteriormente. A investigação e os ensaios são campos onde a *blockchain* poderia rastrear contribuições para a investigação em neurorradiologia ou ensaios clínicos, garantindo a proveniência dos dados e a gestão do consentimento, em alinhamento com o foco de investigação da BioData.pt (2020). O turismo médico encontra-se em crescimento, nomeadamente o europeu, tendo nesta situação as ferramentas digitais baseadas em blockchain vantagens nomeadamente de partilha e proteção de dados de saúde de pacientes estrangeiros, abordando os desafios de privacidade e interoperabilidade dos dados.

8. Relevância para a neurorradiologia: A neurorradiologia envolve conjuntos de dados grandes e sensíveis (por exemplo, ressonância magnética, tomografia computadorizada), que exigem segurança e integridade robustas. A Plataforma de Dados de Saúde de Portugal suporta o armazenamento e a partilha segura desses dados, mas a blockchain poderia melhorar ainda mais a imutabilidade e a rastreabilidade, conforme discutido anteriormente sobre aplicações em neurorradiologia. IA e investigação são destacadas nas iniciativas de investigação da BioData.pt e da SPMS que poderiam aproveitar a *blockchain* para proteger conjuntos de dados de neuroimagem para treino de algoritmos de IA (por exemplo, deteção de lesões), garantindo a proveniência dos dados e o consentimento dos pacientes, em alinhamento com os objetivos de saúde digital de Portugal. A permissão centrada ao

paciente está contemplada e os pacientes podem controlar o acesso aos seus dados de neuroimagem através de plataformas de saúde eletrónica, mas a *blockchain* poderia permitir uma gestão dinâmica do consentimento, permitindo aos pacientes especificar casos de utilização (por exemplo, tratamentos, cuidados clínicos, investigação, de entre outros).

9. Os desafios relativos ao controlo dos dados de saúde prendem-se com limitações de infraestrutura, tendo Portugal já iniciado o processo de digitalização de dados da saúde, mas existindo uma falta de normalização da infraestrutura digital e escassez de investimento, o que afeta a escalabilidade do sistema de dados (SPMS, s.d.).

Os desafios relacionados com os riscos de privacidade e segurança: Os sistemas centralizados, como a Plataforma de Dados de Saúde, são vulneráveis a violações, e os pacientes podem não ter consciência da utilização dos dados.

Os desafios das lacunas regulatórias, nomeadamente a ausência de regras claras para a utilização secundária de dados (por exemplo, em big data ou IA) dificulta a inovação, particularmente para soluções baseadas em blockchain. A interoperabilidade dos EHR (registo saúde eletrónico) está em evolução, mas persiste como um grande desafio, com lacunas, sistemas herdados e normas variáveis entre diferentes prestadores públicos e privados.

As barreiras à adoção da blockchain, são a complexidade e o custo, combinados com o conhecimento limitado dos prestadores de cuidados de saúde, retardando a sua integração nos sistemas de dados de saúde de Portugal.

4.2.2 Direções futuras

A exploração da blockchain, através da participação de Portugal em eventos como o Fórum de Dados de Saúde (novembro de 2024) e as iniciativas da Digital Health Portugal (s.d.) sugerem um interesse crescente na blockchain para a governança de dados de saúde, particularmente para evidências do mundo real (RWE)⁴² e IA.

⁴² Evidência do mundo real (RWE): É a evidência sobre o uso e os potenciais benefícios ou riscos de um registo clínico, resultante da análise dos RWD (dados recolhidos rotineiramente sobre o estado de saúde dos doentes ou da prestação de cuidados de saúde. Exemplos incluem registos clínicos eletrónicos,

Portugal está a impulsionar a adoção de aplicações digitais de saúde (DiGAs) para agilizar o acesso dos pacientes aos dados e garantir um serviço de saúde mais eficiente e personalizado (SPMS, s.d.).

O projeto ENESIS 20-22 dos serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS, s.d.) está alinhado na Estratégia Nacional Alargada para o Ecossistema de Informação em Saúde (2020-2022) e visa aprofundar a transformação digital, incorporando potencialmente a blockchain para melhorar a segurança e o empoderamento dos pacientes.

De acordo com os SPMS (s.d.) Portugal está a trabalhar ativamente para melhorar a partilha de dados de saúde, nomeadamente através do seu alinhamento com o Espaço Europeu de Dados de Saúde (EHDS).

Destaca-se a iniciativa do HealthData@PT, cujo objectivo é criar um Organismo de Acesso aos Dados de Saúde em Portugal, que se acredita que contribua para melhorar o acesso seguro aos dados de saúde para fins de investigação, inovação médica e elaboração de políticas.

Estes esforços fazem parte de uma iniciativa mais ampla para integrar Portugal nas infraestruturas transfronteiriças de dados de saúde, garantindo uma melhor interoperabilidade e acessibilidade.

A investigação e inovação, com foco estratégico da BioData.pt (2025) e dos Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS, s.d) na área da investigação pode impulsionar o desenvolvimento de projetos-piloto baseados em blockchain para garantir a partilha segura e imutável de dados em saúde, alinhando-se com os objetivos do Health Cluster Portugal (s.d.).

4.2.3 Exemplos práticos

A implementação de blockchain na saúde em Portugal está em transição de estadio de projetos-piloto e investigação para estadio de integração em ecossistemas digitais mais amplos, focando-se na segurança de dados e interoperabilidade.

Para contextualizar, referem-se alguns exemplos práticos atuais da potencial utilidade da implementação efetiva do blockchain na Saúde em Portugal:

faturas hospitalares, registos de doenças e dados de dispositivos vestíveis). A RWE é fundamental para complementar os ensaios clínicos aleatorizados oferecendo uma perspetiva sobre como os tratamentos funcionam na população geral.

O caso da grávida que em novembro de 2025 faleceu, e cujo filho nascido, também viria a falecer, tendo esta paciente sido acompanhada clinicamente no SNS desde julho do mesmo ano. Este caso fatal ficou associado à falta de circulação dos dados clínicos existentes desta paciente dentro do SNS segundo Joaquim Cunha, diretor-executivo do Health Cluster Portugal (Pereira, 2025).

No mesmo artigo publicado no jornal *Diário de Notícias*, Pereira (2025) destaca o alerta de Joaquim Cunha para a inexistência de uma "estratégia nacional para os dados em saúde" que está a prejudicar gravemente os utentes. Segundo este responsável, a falta de transparência e a incapacidade de partilha de informação clínica entre diferentes unidades hospitalares, incluídas as dentro do SNS, forçam a repetição desnecessária de exames e comprometem a segurança dos pacientes (Pereira, 2025). Cunha critica ainda a opacidade na gestão dos Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS) e a falta de um plano de interoperabilidade tecnológica para evitar erros clínicos, sublinhando que a concorrência desta entidade com o setor privado não resulta numa poupança efetiva de recursos.

Outro exemplo pratico da utilidade da implementação efetiva do blockchain na Saúde, reporta-se às necessidades de auditoria eficaz dos gastos em produção adicional pelas unidades de saúde do SNC. O responsável da Inspeção Geral das Atividades em Saúde (IGAS), Carlos Carapeto, alertou para a probabilidade de as auditorias em curso revelarem novas irregularidades no pagamento de incentivos à produção adicional em várias unidades do Serviço Nacional de Saúde, à semelhança do caso detetado no Serviço de Dermatologia do Hospital de Santa Maria (Mairos, 2025). Segundo Mairos (2025), o responsável da IGAS identificou falhas graves na gestão e defendeu que a solução não passa apenas pela formação teórica, mas por um recrutamento mais rigoroso e pela capacitação prática dos gestores hospitalares. Adicionalmente, Carapeto instou as tutelas a responsabilizarem os conselhos de administração pela criação de sistemas de auditoria interna robustos, rejeitando a ideia de que a fiscalização central possa substituir a responsabilidade direta das administrações locais (Mairos, 2025). Segundo os Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS, 2025), a implementação de blockchain na administração hospitalar permite a criação de um sistema de auditoria imutável, o que simplifica a gestão de consentimentos e reduz erros administrativos na faturação de cuidados de saúde. Esta perspetiva está em alinhamento com a de que a eficácia

organizacional das instituições/empresas depende dos “deveres” da *corporate governance*⁴³, ou seja, “no que é esperado” da monitorização da gestão na salvaguarda de uma empresa com valor, logo competitiva (Carvalho, 2022, p. [XIX]).

Um terceiro exemplo prático pode relacionar-se com a gestão de listas de espera do SNS, tendo o Governo português aprovado recentemente, em outubro de 2025, uma reforma estrutural na gestão hospitalar com a implementação do Sistema Nacional de Acesso a Consultas e Cirurgias⁴⁴ (SINACC). Esta nova plataforma, substitui o antigo Sistema Integrado de Gestão de Inscritos para Cirurgia (SIGIC)⁴⁵, em vigor desde 2004, com o objetivo de modernizar o controlo das listas de espera ("Hospitais gastaram mais de 627 milhões", 2025) e evidencia a necessidade modernização com novas tecnologias do SNS. De acordo com Abdullah et al.(2020) fora da área da saúde, a *blockchain* tem sido utilizada em finanças e gestão da cadeia de abastecimento. Em radiologia/neurorradiologia, pode ser aplicada em áreas de arbitragem de sinistros e gestão de faturação para minimizar fraudes relacionadas com a faturação médica.

O último exemplo prático e de acordo com Schreck (2025) ocorrido em setembro de 2025, reporta-se ao episódio de paragem crítica dos seus sistemas informáticos do Serviço Nacional de Saúde (SNS) devido a uma atualização de software da operadora NOS na Rede Informática da Saúde (RIS). Estas falhas deixaram as plataformas inoperacionais durante toda a noite e afetaram serviços essenciais no dia seguinte, como a Prescrição Eletrónica Médica e o sistema SClínico⁴⁶.

De acordo com Carlos Cortes, bastonário da Ordem dos Médicos, as falhas informáticas no SNS "decorreram de uma migração feita em muitas instituições sem salvaguardar a existência de um repositório local funcional" (Schreck, 2025). Devido à falta de acesso local aos dados, as unidades de saúde ficaram "totalmente dependentes de uma comunicação permanente com os sistemas centrais" (Schreck, 2025). Em comunicado oficial, a Ordem dos Médicos (2025) reforçou que esta situação "revela a irresponsabilidade e ineficiência dos SPMS e expõe de forma inaceitável médicos e

⁴³ Corporate Governance (Governança Corporativa ou Governo das Sociedades) define-se como o conjunto de princípios, regras, processos e sistemas através dos quais as empresas são dirigidas, administradas e controladas.

⁴⁴ Utiliza de IA para monitorizar custos e tempos de espera.

⁴⁵ O SIGIC (Sistema Integrado de Gestão de Inscritos para Cirurgia) foi, durante duas décadas, o modelo central de regulação das listas de espera cirúrgicas em Portugal.

⁴⁶ O SClínico é o sistema de informação clínico centralizado do Serviço Nacional de Saúde (SNS) em Portugal, desenvolvido e gerido pelos [Serviços Partilhados do Ministério da Saúde \(SPMS\)](#)

doentes a riscos evitáveis". A Plataforma de Dados de Saúde e o Portal do SNS dependem de sistemas centralizados (vulneráveis a falha em ponto único) com criptografia (SPMS, s.d.), pelo que a implementação da tecnologia blockchain (descentralizada) na área da saúde em Portugal poderá contribuir para evitar este tipo de situações.

4.3 Pontos Comuns, Diferenças e Lacunas Identificados (Reino Unido, Estónia e Portugal)

A implementação da tecnologia blockchain na neurroradiologia do Reino Unido, da Estónia e em Portugal reflete diferentes estádios de adoção, infraestrutura tecnológica e prioridades políticas em saúde. Abaixo, apresenta-se uma análise comparativa dos pontos comuns, diferenças e lacunas identificadas, com base nas informações disponíveis e no contexto de cada país, anteriormente apresentadas, com foco em neurroradiologia (gestão de imagens médicas de RM, TC, Ultrassonografia, Angiogramas, Raios X e dados relacionados).

4.3.1 Pontos comuns

Os pontos comuns são: potencial reconhecido para segurança e privacidade, interoperabilidade e partilha de dados, integração com IA, foco no paciente e encontrar-se em estágio inicial na Neurroradiologia.

O potencial reconhecido da implementação da blockchain para segurança e privacidade é consensual nos três países, podendo melhorar a segurança de dados sensíveis (e.g., em neurroradiologia- imagens DICOM e relatórios diagnósticos), proteger contra ciberataques e garantir a privacidade dos pacientes (em conformidade com o GDPR na UE). A integridade dos dados é uma prioridade, com o blockchain a ser visto como uma solução para criar registos imutáveis de acesso e de imagens dos exames de diagnóstico.

A interoperabilidade e partilha de dados é promovida com a tecnologia blockchain que viabiliza a partilha segura de imagens entre instituições, reduzindo redundâncias (e.g., repetição de exames) e melhorando no caso da neurroradiologia a colaboração entre diferentes especialidades médicas e cirúrgicas em diferentes instituições, especialmente em casos complexos como tumores cerebrais ou acidentes vasculares cerebrais agudos (AVCs).

A convergência entre a tecnologia *blockchain* e a Inteligência Artificial (IA) representa uma das áreas mais promissoras para a neurroradiologia nos três países analisados. Reconhece-se que a estrutura descentralizada do *blockchain* pode servir de base para o treino de algoritmos avançados, como os utilizados na deteção de anomalias cerebrais, ao assegurar a total rastreabilidade e autenticidade dos dados clínicos. Esta simbiose tecnológica garante que a proveniência da informação é fidedigna e inalterável, um fator crítico para a precisão e confiança nos diagnósticos apoiados por IA.

Paralelamente, observa-se uma tendência crescente focada no empoderamento do paciente, que passa a deter um papel central na gestão da sua própria informação médica. Através de contratos inteligentes (*smart contracts*) ou sistemas de permissões baseados em chaves criptográficas, o paciente ganha a capacidade de controlar, de forma dinâmica e segura, quem pode aceder às suas imagens neurroradiológicas e dados clínicos. Esta abordagem não só reforça a privacidade, como permite uma partilha de dados mais transparente entre diferentes prestadores de cuidados de saúde.

Apesar deste potencial disruptivo, a aplicação prática do *blockchain* no domínio específico da neurroradiologia encontra-se ainda num estágio de desenvolvimento inicial nos três países. A maioria das iniciativas situa-se no plano teórico ou em fases de investigação e projetos-piloto, existindo ainda uma escassez de casos implementados em ambiente clínico real. Este cenário reflete uma fase de maturação, onde os benefícios da tecnologia estão a ser testados e validados antes de uma adoção em larga escala nos sistemas de saúde nacionais.

4.3.2 Diferenças

Tabela 2

Diferenças da aplicação da blockchain na Estónia, Reino Unido e Portugal

Situação	Estônia	Reino Unido	Portugal
Nível de Adoção Nacional	Líder global, com blockchain (KSI) implementado desde 2016 para EHRs de 1,3M de cidadãos, incluindo logs de atividades médicas.	Exploração inicial, com pilotos em radiologia (e.g., DeepRadiology, MDW), mas sem adoção nacional no NHS.	Uso limitado, focado em e-prescrições transfronteiriças (CBeP) e projetos de pesquisa, sem evidências específicas em neurorradiologia.
Infraestrutura Tecnológica Maturidade Digital	Sistema nacional X-Road integra blockchain com EHRs, suportando acesso em tempo real a dados médicos.	Infraestrutura fragmentada no NHS, com sistemas legados (e.g., Cerner, Epic) dificultando integração.	Infraestrutura em desenvolvimento, com sistemas digitais em saúde (e.g., SPMS), mas sem blockchain amplamente adotado.
Aplicação em Neurorradiologia	Não há iniciativas específicas, mas o framework KSI poderia ser adaptado para imagens neurrorradiológicas.	Projetos como MDW e DeepRadiology exploram blockchain para radiologia, com potencial para neurrorradiologia.	Nenhuma aplicação específica documentada em neurrorradiologia; foco em e-prescrições e interoperabilidade geral.
Investimento e Pesquisa	Alto investimento governamental desde 2011, com parceria Guardtime.	Pesquisa acadêmica ativa (e.g., Verde et al., 2019), mas dependente de iniciativas privadas e do NHS AI Lab.	Pesquisa limitada, com foco em saúde digital, mas sem ênfase em blockchain para neurrorradiologia.
Foco em IA	Integração com medicina personalizada (e.g., dados genômicos), com potencial para IA em neurrorradiologia.	Forte integração com IA (e.g., Aidoc no NHS), mas blockchain ainda não é usado para suportar esses dados.	IA em saúde em crescimento, mas sem conexão clara com blockchain ou neurrorradiologia.

Nota: CBeP (Cross-Border ePrescription) é o serviço europeu que permite a interoperabilidade de prescrições e dispensas eletrónicas entre Estados-Membros da UE. Em Portugal, a gestão técnica deste serviço é assegurada pelos SPMS; X-Road é uma plataforma de troca de dados que utiliza a blockchain para garantir a autenticidade das mensagens e dos registos (logs) de transações entre diferentes instituições públicas e privadas, permitindo a interoperabilidade dos sistemas; Cerner é uma das maiores empresas tecnológicas do mundo especializada em sistemas de informação de saúde, (desde 2022 designada por Oracle Health) a sua atividade principal foca-se no desenvolvimento de software para hospitais, clínicas e sistemas nacionais de saúde e focando-se na resolução de um dos maiores problemas da saúde digital: a interoperabilidade segura e a integridade dos dados dos pacientes; Epic Systems Corporation é a empresa líder mundial no desenvolvimento de software para Registos de Saúde Eletrónicos (EHR/EPR); NHS AI Lab (Laboratório de Inteligência Artificial do NHS): as suas funções e equipas foram integradas na Equipa Nacional de IA do NHS, que agora lidera a estratégia de adoção responsável e ética de tecnologias de inteligência artificial em larga escala.

4.3.3 Lacunas identificadas

A análise comparativa entre a Estónia, o Reino Unido e Portugal revela uma lacuna significativa no que diz respeito à implementação de soluções de *blockchain* dedicadas especificamente à neurorradiologia. Na Estónia, embora o país possua um dos sistemas de Registos de Saúde Eletrónicos (EHRs) assentes em *blockchain* mais avançados do mundo, não existem evidências de que esta tecnologia tenha sido aplicada diretamente na gestão de imagens DICOM (como Ressonâncias Magnéticas ou Tomografias Computorizadas) ou na emissão de relatórios diagnósticos específicos desta área.

No Reino Unido, o cenário é marcado por iniciativas de âmbito mais alargado, como o Metadata Warehouse (MDW)⁴⁷ e o DeepRadiology. O MDW, em particular, desempenha um papel crucial ao atuar como um repositório centralizado que organiza os metadados contidos nos ficheiros DICOM, estruturando informações como parâmetros de aquisição e doses de radiação que são vitais para o treino de modelos de Inteligência Artificial. Contudo, apesar destas bases tecnológicas sólidas, estes projetos focam-se na radiologia geral, carecendo ainda de uma especialização em neurorradiologia, o que limita a existência de casos práticos aplicados ao estudo do sistema nervoso.

Em Portugal, a situação é ainda mais incipiente, não existindo iniciativas documentadas nesta subespecialidade médica. O uso de *blockchain* no sistema de saúde português encontra-se numa fase de estudo e definição estratégica, estando as intenções e os projetos-piloto focados principalmente em áreas como as e-prescrições transfronteiriças e projetos genéricos de saúde digital. Assim, a aplicação do *blockchain* à neurorradiologia permanece, nos três países, um território com grande potencial teórico mas ainda desprovido de ferramentas clínicas específicas para a gestão e interpretação de exames neurológicos complexos.

⁴⁷ MDW - O Metadata Warehouse é um repositório centralizado que gere os metadados (informação sobre os dados) contidos nos ficheiros DICOM (imagens médicas) e relatórios clínicos. É a base para o treino de modelos de IA em radiologia. Organiza etiquetas DICOM (como parâmetros de aquisição, dose de radiação e dados do paciente) que frequentemente estão desestruturadas ou em formatos proprietários. Sem metadados padronizados e enriquecidos, os algoritmos de aprendizagem automática não conseguem correlacionar imagens com o contexto clínico (histórico, diagnósticos anteriores) de forma eficaz.

A questão da escalabilidade para o armazenamento de imagens médicas constitui um desafio técnico partilhado pela Estónia, Reino Unido e Portugal, uma vez que o elevado volume dos ficheiros de neurroradiologia em formato DICOM torna inviável o seu registo direto na *blockchain* devido às limitações intrínsecas de capacidade desta tecnologia. Como alternativa, surge a estratégia promissora de utilizar a rede apenas para armazenar metadados, *hashes* de segurança ou *logs* de acesso — um modelo já explorado na Estónia para registos clínicos gerais —, mantendo as imagens pesadas em servidores externos ou sistemas de armazenamento descentralizado. Contudo, esta arquitetura híbrida ainda não foi amplamente testada ou validada no contexto específico da neurroradiologia, onde a integridade e a rapidez no acesso a exames cerebrais complexos são requisitos críticos.

A integração da tecnologia *blockchain* com as infraestruturas de saúde vigentes enfrenta barreiras distintas, mas igualmente complexas, em cada um dos países analisados. Na Estónia, embora a plataforma X-Road resolva parcialmente as questões de conectividade, a sua adaptação para comunicar eficazmente com os sistemas PACS (*Picture Archiving and Communication Systems*) utilizados na neurroradiologia ainda exige um desenvolvimento técnico considerável para suportar o fluxo de exames de imagem. No Reino Unido, o principal obstáculo reside nos sistemas legados do NHS (como os da *Cerner* ou da *Epic Systems Corporation*), cuja arquitetura fechada dificulta a integração com redes descentralizadas, especialmente no que toca à partilha de dados volumosos de imagiologia. Em Portugal, apesar de a infraestrutura digital gerida pelos SPMS estar em constante evolução, a falta de uma padronização universal entre as diferentes unidades hospitalares cria silos de informação que limitam a interoperabilidade necessária para uma rede de *blockchain* nacional e funcional.

A análise do investimento e da taxa de adoção revela disparidades estruturais significativas entre os três países. Na Estónia, o elevado investimento governamental e a consolidação da tecnologia a nível nacional contrastam, paradoxalmente, com a ausência de um foco direcionado para subespecialidades, permanecendo a neurroradiologia à margem desta modernização. No Reino Unido, o panorama é marcado pela fragmentação, com uma dependência excessiva de iniciativas do setor privado e de estudos-piloto isolados, o que compromete a escalabilidade das soluções dentro da vasta rede do NHS. Em Portugal, o investimento dedicado especificamente à tecnologia *blockchain* na saúde

é ainda reduzido, uma vez que as prioridades estratégicas e investigacionais têm sido canalizadas para outras vertentes da saúde digital, com particular incidência na consolidação das e-prescrições e na interoperabilidade administrativa.

A conformidade com o quadro regulatório europeu representa um dos maiores desafios para a implementação da tecnologia blockchain nos sistemas de saúde de Portugal, Estónia e Reino Unido. O RGPD (Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados) estabelece o "direito ao apagamento" (ou direito ao esquecimento), o qual entra em conflito direto com a imutabilidade, uma das características centrais da blockchain onde os dados, uma vez registados, não podem ser eliminados.

Para contornar esta incompatibilidade legal, os três países têm em estudo soluções alternativas, tais como a utilização de redes de *blockchain privada*⁴⁸ (com permissões de gestão de dados) ou o armazenamento de apenas metadados e referências criptográficas na rede, mantendo os dados sensíveis em bases de dados externas que permitem a eliminação. No entanto, estas arquiteturas que visam harmonizar a inovação tecnológica com a proteção jurídica dos pacientes ainda não foram implementadas de forma prática e sistemática nas infraestruturas nacionais de saúde.

A implementação bem-sucedida de tecnologias emergentes depende criticamente do fator humano, verificando-se, contudo, uma lacuna nos três países no que diz respeito ao **conhecimento e treino especializado** nesta área, atendendo à sua novidade e complexidade, sendo necessários programas de educação e formação específica para os profissionais envolvidos. A dificuldade na adoção destas ferramentas nos três países não é apenas uma questão de infraestrutura, mas também de uma literacia digital especializada que ainda não foi integrada no quotidiano da neurorradiologia. Em Portugal e de acordo com Bem (2022) para uma introdução bem-sucedida da blockchain na medicina em Portugal, é importante promover um maior conhecimento sobre o tema nos médicos. Também Ghorashi et al. (2023) documentam a necessidade de promover a

⁴⁸ *blockchain privada* é uma rede de registo distribuído que não está aberta ao público em geral, sendo a tipologia relevante para o setor público e para a saúde em Portugal (por questões de privacidade e conformidade com o RGPD), diferente da tipologia pública (aberta e descentralizada) como a da rede das criptomoedas.

literacia digital nesta área, sublinhando que a familiaridade dos profissionais com as novas tecnologias é um dos requisitos essenciais para a sua implementação.

No domínio da **inteligência artificial** aplicada à **neurorradiologia**, observa-se uma desarticulação entre as ferramentas de diagnóstico e as redes de segurança descentralizadas. No Reino Unido, embora a plataforma Aidoc seja amplamente utilizada pelo NHS para a análise automatizada de exames cerebrais, esta tecnologia opera de forma isolada, sem integração com sistemas *blockchain*. Esta lacuna resulta na perda de oportunidades críticas para reforçar a segurança e a rastreabilidade total dos dados utilizados e gerados pelos algoritmos.

Na Estónia, embora a infraestrutura de integridade KSI Blockchain tenha potencial teórico para suportar e validar os fluxos de dados de IA, não existe ainda documentação que comprove a sua integração com ferramentas clínicas como a Aidoc.

Em Portugal, o cenário é marcado por uma dupla carência: a ausência de uma implementação generalizada de IA avançada na neurorradiologia, combinada com uma fase inicial de exploração da tecnologia *blockchain*, limitando a capacidade do país em gerar inovações tecnológicas nesta área específica.

A **análise comparativa global dos três países** revela que a Estónia mantém uma posição de liderança na adoção de *blockchain* na saúde, sustentada por um sistema nacional robusto assente nas tecnologias KSI e X-Road. Embora careça de aplicações desenhadas especificamente para a neurorradiologia, o seu modelo de governação de dados serve como um *benchmark*⁴⁹ fundamental para o Reino Unido e Portugal, oferecendo um exemplo padrão em segurança e integridade que poderia ser adaptado para a gestão de exames neurológicos complexos.

O Reino Unido, por sua vez, apresenta o maior potencial para a convergência entre *blockchain* e Inteligência Artificial, impulsionado pela utilização de ferramentas como a Aidoc em ambiente clínico. Contudo, a eficácia desta transição é travada pela

⁴⁹ *Benchmark* refere-se a um ponto de referência ou a um padrão de excelência em relação ao qual algo pode ser medido ou comparado. No contexto da gestão e da saúde, o benchmarking é o processo de comparar os indicadores de uma organização (e.g., custos de cirurgias, tempos de espera) com os melhores exemplos do mercado ou com médias nacionais.

fragmentação administrativa do NHS e por uma falta de especialização em neurroradiologia, o que dificulta a escalabilidade de projetos-piloto de radiologia geral para esta subespecialidade.

Em contraste, Portugal encontra-se num estágio mais atrasado, com as suas prioridades de saúde digital focadas na consolidação de sistemas genéricos, como as e-prescrições. No entanto, este atraso representa também uma oportunidade estratégica; o país poderia acelerar o seu desenvolvimento ao estabelecer parcerias internacionais com líderes como a Estónia. Tais colaborações seriam fundamentais para desenhar projetos-piloto que integrem a segurança do *blockchain* nas necessidades específicas da neurroradiologia portuguesa, saltando etapas de maturação tecnológica através da transferência de conhecimento.

4.4 Barreiras e Facilitadores no Contexto Nacional

A introdução da tecnologia blockchain em Portugal, está numa fase promissora, mas enfrenta desafios estruturais e regulatórios, existindo, contudo, alguns aspetos impulsionadores que poderão contribuir para facilitar a sua implementação, particularmente no sector da saúde (Luz & Silva, 2025), que se podem estender a aplicações em neurroradiologia.

Abaixo está uma análise segundo as informações disponibilizadas pelo Portal do SNS (2025) e pelo consórcio Blockchain.PT (2025) do panorama geral da blockchain em Portugal.

4.4.1 Barreiras à implementação da blockchain em Saúde em Portugal

O panorama nacional está a adaptar-se às novas exigências do mercado digital nomeadamente à blockchain (Luz & Silva, 2025; SPMS, s.d.), revelando ainda imaturidade técnica e complexidade na integração com os sistemas vigentes.

A tecnologia blockchain está em evolução, tem limitações de escalabilidade, interoperabilidade e eficiência energética (Dinc & Ardic, 2024).

O tratamento de grandes conjuntos de dados, como os EHRs e como imagens neurroradiológicas de alta resolução (por exemplo, ressonâncias magnéticas ou tomografias computadorizadas), requerem uma infraestrutura robusta que os atuais sistemas blockchain têm dificuldade em suportar em grande escala (escalabilidade).

Portugal em alinhamento com a UE enfrenta os desafios regulamentares e de conformidade com o RGPD que podem constituir uma barreira à sua implementação, uma vez que a imutabilidade da blockchain entra em conflito com os requisitos do RGPD, particularmente o direito à retificação e ao apagamento (direito ao esquecimento) (ESR, 2021). Na neurorradiologia, onde a privacidade dos dados dos pacientes é fundamental, garantir a conformidade com o RGPD e a Lei de Implementação do RGPD de Portugal (Lei 58/2019) é complexo. A natureza descentralizada da blockchain levanta questões sobre a propriedade e a responsabilidade pelos dados, complicando a conformidade para os prestadores de cuidados de saúde que gerem dados sensíveis. Luz e Silva enfatizam que a falta de quadros regulamentares claros para a blockchain na área da saúde dificulta adicionalmente a sua adoção.

Os altos custos de implementação da blockchain (De Aguiar et al., 2021) constituem outra barreira à implementação da *blockchain* em Portugal:

A implantação da blockchain envolve um investimento financeiro significativo em infraestrutura, desenvolvimento e formação. Por exemplo, a implementação da blockchain para a partilha segura de dados de imagem requer uma integração dispendiosa com os sistemas existentes do SNS.

A falta de conhecimentos e competências dos profissionais constituem outro tipo de barreiras. Os escassos conhecimentos especializados em blockchain dos profissionais de saúde em Portugal, dificultam a sua adoção (Bem, B. M. B. P. do, 2022).

A tecnologia *blockchain* para a partilha e colaboração de dados de forma segura e transparente pode enfrentar oposição devido à sua perceção de complexidade. Os investigadores podem resistir à gestão de dados baseada em blockchain devido a pressões sociais. Convencê-los a utilizar a blockchain implica demonstrar os seus benefícios, abordar as questões de segurança de dados e fornecer ferramentas e interfaces intuitivas (Kasyapa & Vanmathi, 2024).

Os desafios de interoperabilidade na implementação da *blockchain* centram-se na ausência de uma plataforma universal de *blockchain* constitui um dos principais entraves à sua adoção em larga escala, originando vulnerabilidades críticas no que respeita à compatibilidade entre sistemas distintos (Gordon & Catalini, 2018). No domínio específico da saúde, esta fragmentação tecnológica manifesta-se com particular acuidade. A integração de protocolos de *blockchain* com a diversidade de sistemas de

registos de saúde eletrónicos e as complexas bases de dados de imagens utilizadas em neurorradiologia representa, atualmente, um desafio técnico e estrutural de elevada complexidade.

As consequências desta falta de padronização são profundas, resultando em ecossistemas de informação fragmentados que operam de forma isolada. Este cenário compromete a partilha fluida e ininterrupta de dados clínicos, dificultando o sucesso do diagnóstico colaborativo e o avanço da investigação científica (Tagliafico et al., 2022).

A complexidade organizacional e externa do ecossistema da saúde em Portugal envolve várias partes interessadas (hospitais, clínicas, instituições de investigação), resultando em silos de informação fragmentados que operam de forma isolada, complicando a adoção da blockchain (Dinc & Ardic, 2024). Fatores externos, como regulamentações governamentais e europeias têm consequências na sua adoção (ESR, 2021).

A percepção e confiança do público traduzem preocupações com a segurança dos dados relacionadas com prévias violações (Kuo et al, 2017), reduzindo a confiança na blockchain para aplicações em saúde entre pacientes e prestadores de serviços (Kasyapa & Vanmathi, 2024). Os pacientes podem hesitar em dar o seu consentimento que seus dados sejam armazenados em plataformas de blockchain, por risco de perda de privacidade.

4.4.2 Facilitadores para a implementação da blockchain na saúde em Portugal

O Plano de Ação para a Transição Digital (Conselho de Ministros, 2020) e a Estratégia Nacional para a Blockchain (Governo de Portugal, 2022) promovem o desenvolvimento da blockchain em todos os setores, incluindo o da saúde. O governo pretende adicionalmente criar legislação específica que apoie a inovação e os ecossistemas de *startups*⁵⁰ (SPMS. S.d.).

Esta estratégia incentiva a adoção da blockchain na saúde e na neurorradiologia, promovendo a investigação e projetos-piloto para a gestão segura de dados e a interoperabilidade dos registos dos pacientes.

⁵⁰ *Startups* são organizações temporárias concebidas para procurar um modelo de negócio repetível e escalável, operando tipicamente em condições de elevada incerteza.

As Zonas de Liberdade Tecnológica (ZLT) foram criadas ao abrigo da Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2020 e do Decreto-Lei n.º 67/2021, e funcionam como *sandboxes*⁵¹ regulamentares para testar aplicações de blockchain em contextos reais, incluindo os cuidados de saúde.

Estas zonas reduzem as barreiras regulamentares, permitindo a realização de projetos-piloto de blockchain que se poderão focar em neurroradiologia, tais como a partilha segura de dados de imagiologia ou a rastreabilidade dos dados de investigação, com o apoio das entidades reguladoras.

A Agenda BLOCKCHAIN.PT ou agenda “Descentralizar Portugal com Blockchain”, lançada em 2023, envolve um investimento de 72 milhões de euros e uma coligação de 56 entidades para desenvolver soluções de *blockchain* na área da saúde, agricultura e outros setores; esta iniciativa centra-se na interoperabilidade, gestão de ativos digitais e integração da IoT (Blockchain.PT, 2025). Esta iniciativa apoia desenvolvimento de aplicações de saúde, que promovam soluções baseadas em blockchain para a segurança dos dados dos pacientes, a interoperabilidade dos sistemas de imagem e os princípios de rastreabilidade adaptáveis às cadeias de abastecimento médico (por exemplo, agentes de contraste).

A promoção governamental de um ecossistema forte de *fintech*⁵² em Portugal e sua potencial associação à *blockchain*, poderá atrair investimentos e talentos. Iniciativas como o Portugal Finlab (s.d.) e o consórcio BLOCKCHAIN.PT (2025) promovem a colaboração entre reguladores, academia e indústria (Luz e Silva, 2025).

Este ecossistema apoia o desenvolvimento de tecnologia blockchain e sua associação a ferramentas de IA, em vários campos e na saúde, incluindo as especialidades de radiologia/neurroradiologia, permitindo desenvolvimento de plataformas seguras de troca de dados e ferramentas de diagnóstico baseadas em IA com contribuições de dados rastreáveis.

No que respeita a alinhamento e financiamento da EU salienta-se que Portugal está alinhado com as iniciativas da UE em matéria de blockchain, tais como o registo de

⁵¹ *Sandboxes* ou ambientes de teste controlados, são espaços físicos ou virtuais delimitados, onde são testadas tecnologias, produtos ou serviços inovadores sob um regime regulatório especial.

⁵² resulta da junção das palavras finanças e tecnologia, sendo o setor das empresas que utilizam tecnologia e inovação para oferecer serviços financeiros de forma mais eficiente, rápida e acessível do que o modelo bancário tradicional.

propriedade intelectual baseado em blockchain da Instituto da Propriedade Intelectual da União Europeia (EUIPO) e os regulamentos MiCA (*Markets in Crypto-Assets Regulation*)⁵³(Luz, N. L. da & Silva, T.G. da, 2025). O financiamento do Next Generation EU (NGEU)⁵⁴ através do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) apoia projetos como o BLOCKCHAIN.PT (INESC-ID Lisboa, s.d.).

O alinhamento com a UE proporciona clareza regulamentar e recursos financeiros, facilitando a adoção da blockchain na saúde e na neurroradiologia para investigação e partilha transfronteiriça de dados.

A colaboração empresarial e académica é outro fator facilitador, salientando-se a relação do empreendedorismo com a academia (por exemplo, como do INESC-ID⁵⁵, do MARETEC⁵⁶) que impulsionam a inovação em blockchain. As *Startups* e instituições de investigação cooperam no desenvolvimento de soluções para a segurança e interoperabilidade dos dados de saúde (Luz, N. L. da & Silva, T.G. da, 2025).

Estes esforços colaborativos abrem portas à inovação tecnológica e terão potencialmente capacidade para desenvolver aplicações específicas para problemas específicos da radiologia/neurroradiologia, tais como plataformas baseadas em *blockchain* para o armazenamento seguro de dados sensíveis ou contratos inteligentes para a gestão do consentimento dos pacientes e transparência na cadeia de abastecimento (e.g., produtos farmacêuticos, equipamentos, produtos de contraste)(Kasyapa & Vanmathi, 2024).

⁵³ Os regulamentos MiCA referem-se ao Regulamento dos Mercados de Criptoativos, o quadro legal pioneiro da União Europeia que visa harmonizar a regulamentação dos ativos digitais nos 27 Estados-Membros. Este regulamento entrou plenamente em vigor na UE em dezembro de 2024 e é crucial para o setor financeiro e tecnológico português em 2025.

⁵⁴ O Next Generation EU (NGEU) é o instrumento temporário de recuperação económica da União Europeia, dotado de mais de 800 mil milhões de euros, criado para reparar os danos causados pela pandemia e impulsionar a transição ecológica e digital na Europa até 2026. Em Portugal, o NGEU é operacionalizado através do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR).

⁵⁵ O INESC-ID é uma das principais instituições de Investigação & Desenvolvimento (I&D) em Portugal, dedicada às áreas das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC).

⁵⁶ MARTEC (Centro de Ciência e Tecnologia do Mar e do Ambiente) é um centro de modelação ambiental e análise de sistemas, que encontra na *blockchain* uma ferramenta para garantir a integridade e transparência de dados ambientais.

4.4.3 Contextualização na neurroradiologia em Portugal

A blockchain ainda não está implementada na neurroradiologia portuguesa nem na área da saúde em geral. A Plataforma de Dados de Saúde e o Portal do SNS dependem de sistemas centralizados com criptografia, não de blockchain (SPMS, s.d.).

No que respeita às barreiras são idênticas às das outras realidade comparadas, no que respeita à gestão e armazenamento de grandes conjuntos de dados sensíveis, fragmentados, amplificando desafios como escalabilidade, conformidade com o RGDP e interoperabilidade. Os altos custos e a falta de competências especializadas acrescentam dificuldade à adoção da blockchain para a gestão segura de dados de imagem ou pesquisa em IA em Portugal.

Relativamente aos facilitadores destacam-se as iniciativas apoiadas pelo governo, como as ZLT e BLOCKCHAIN.PT, que poderão ser combinadas com o ecossistema da Fintech Solutions (Portugal Fintech, 2025), e criar oportunidades para projetos-piloto em neurroradiologia. Estes podem incluir plataformas *blockchain* para melhorar a partilha segura de dados entre especialistas, o acesso controlado pelo paciente aos dados (incluindo os de imagem) ou a possibilidade de rastrear conjuntos de dados para diagnósticos baseados em IA.

4.5 Reflexões sobre o potencial da blockchain na transformação da neurroradiologia em Portugal.

O potencial transformador da tecnologia blockchain em Neurroradiologia em Portugal acompanha as potencialidades descritas na literatura internacional avaliada na realização deste estudo. Em síntese no contexto nacional a grande transformação seria a da integração e interoperabilidade dos dados clínicos fragmentados em silos teoricamente comunicantes, mas na prática pouco funcionantes do SNS a nível de rede global nacional (Schreck, 2025).

Esta integração e interoperabilidade necessárias deverão centrar-se no consentimento informado e dinâmico e no controlo dos dados pelos pacientes, de acordo com as regulamentações europeias, que Portugal segue.

Com a possibilidade de partilha segura dos dados sensíveis de saúde através da tecnologia blockchain, surgem novos caminhos, clínicos, de investigação e empresariais.

A nível clínico abre-se a possibilidade de avaliação da contribuição individualizada nos relatórios multidisciplinares complexos que reúnem especialistas de várias áreas que são concluídos num documento único onde é possível identificar com precisão a autoria e a especialidade inerente a cada observação específica. Mais do que uma simples organização em blocos, o blockchain garante um nível superior de responsabilidade e rastreabilidade, uma vez que cada análise individual permanece assinada e registada numa ordem cronológica imutável. Esta transparência clarifica o papel de cada “contribuidor ” — incluindo o de sistemas de IA—e facilita consultas diretas e eficientes ao especialista adequado (rastreabilidade) sempre que for necessário um esclarecimento adicional sobre uma parte específica do relatório. Será assim possível evitar duplicação de exames e de observações clínicas bem como personalizar a terapêutica a instituir.

A partilha segura de dados, a sua imutabilidade e a sua rastreabilidade pela blockchain permite investigação em tecnologias de informação e em treino de algoritmos de IA para automação de relatórios, deteção de aspetos patológicos e amplificação de diagnósticos (biomarcadores) como no caso da doença das demências (doença de Alzheimer) e na radiómica, onde é possível quantificar dados de imagem invisíveis a “olho nú” integrando-os com características genómicas de modo a estabelecer modelos preditivos de doença e de resposta terapêutica.

Ainda no campo da investigação tecnológica em neurorradiologia, a associação IA e blockchain proporciona a colaboração interdisciplinar entre médicos neurorradiologistas e profissionais não médicos, dedicados à IA, blockchain e cibersegurança, o que promove a necessidade de novas profissões (Tagliafico et al., 2022) nas unidades de saúde que viabilizem a implementação da blockchain localmente.

No que respeita aos ensaios clínicos a prática atual em Portugal, centra-se no efeito de determinados fármacos em determinadas patologias, como por exemplo no Acidente Vascular Cerebral (AVC) ou na doença de Parkinson, nos casos das doenças neurológicas, e assenta no armazenamento de dados de imagem em plataformas centralizadas como os sistemas dos Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS) ou com o consórcio BioData.pt. Embora estas infraestruturas garantam o funcionamento básico, a gestão do consentimento e a integridade absoluta dos dados

permanecem dependentes de autoridades centrais, o que poderia ser otimizado e gerido através da tecnologia *blockchain*.

A aplicação da *blockchain* na neurroradiologia permitiria a criação de um registo imutável e à prova de falsificação para ensaios clínicos. No acompanhamento de patologias como por exemplo os gliomas (tumores cerebrais), esta tecnologia possibilitaria o rastreio sequencial de ressonâncias magnéticas, assegurando uma monitorização rigorosa da resposta ao tratamento e da evolução tumoral.

Um dos maiores benefícios da implementação da *blockchain* reside na facilitação de estudos multicêntricos, amplificando o número de pacientes e a sua variabilidade etnogeográfica. A partilha segura de dados entre instituições portuguesas e da União Europeia seria simplificada, garantindo que a proveniência da informação seria autêntica e auditável.

Na prática, a eficácia deste modelo pode ser ilustrada num ensaio clínico para testar a eficácia de um novo fármaco no tratamento do AVC. Através da *blockchain*, seria possível rastrear e cruzar dados de ressonância magnética provenientes de diferentes centros hospitalares do SNS, garantindo que o cumprimento do consentimento informado e a origem dos dados seriam rigorosamente respeitados em toda a rede de investigação.

As garantias de segurança e rastreabilidade oferecidas pela tecnologia *blockchain* são essenciais para a conformidade e eficiência dos serviços de radiologia/neurroradiologia modernos, reduzindo consequentemente custos inerentes.

Não há projetos específicos de *blockchain* na neurroradiologia portuguesa documentados, mas exemplos globais (por exemplo, os EHRs baseados em *blockchain* na Estónia) podem inspirar projetos-piloto em Portugal, particularmente para o partilha segura de dados de neuroimagem e investigação em IA.

Iniciativas como a Digital Health Portugal e o Health Data Forum (2024) destacam a exploração de tecnologias inovadoras, com foco no empreendedorismo em Portugal, incluindo *blockchain*, para a governança de dados de saúde. Instituições de investigação como a BioData.pt (2025) poderão testar a *blockchain* para dados de neuroimagem no futuro.

4.6 Implicações estratégicas dirigidas a decisores públicos e gestores do SNS

A implementação de *blockchain* na saúde em Portugal, incluindo na neurroradiologia, requer delineação de estratégias significativas, nomeadamente relativas a interoperabilidade e segurança de dados. O modelo de governação centralizado português contrasta com a abordagem descentralizada da Estónia e com as iniciativas específicas do Reino Unido, apontando para a necessidade de um modelo híbrido e de orientações regulatórias claras.

No que respeita à interoperabilidade e acesso aos dados, o SNS, que tem vindo a melhorar os seus indicadores de saúde digital, carece ainda de integração total entre as várias unidades de saúde e setores (público e privado), e deveria adotar uma estratégia de interoperabilidade centrada no paciente, permitindo que a informação flua de forma segura entre prestadores de cuidados. A experiência estoniana sugere um modelo de verificação de integridade dos dados, em vez de um sistema de armazenamento de dados massivo em *blockchain*.

No que respeita à segurança de dados e privacidade dos dados A característica de imutabilidade da *blockchain* levanta desafios significativos em relação ao Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), especificamente os direitos de retificação e apagamento ("direito a ser esquecido"). As orientações do Comité Europeu para a Proteção de Dados (CEPD) recomendam evitar o armazenamento de dados pessoais sensíveis diretamente na *blockchain*, sugerindo o seu uso para registos de auditoria (logs) ou metadados. Os decisores deverão focar-se em soluções de *blockchain* permissionadas (privadas, com acesso controlado) que cumpram a legislação nacional e europeia.

Oportunidades para a neurroradiologia: a neurroradiologia lida com grandes volumes de dados de imagem de alta resolução e relatórios complexos, que requerem partilha rápida e segura entre especialistas e diferentes instituições para diagnóstico e seguimento de patologias. A *blockchain* pode garantir um ciclo de vida do registo inalterável para estes dados e relatórios, permitindo a partilha segura para consultas de segunda opinião ou investigação, sem comprometer a integridade dos dados.

Orientações para a implementação: a implementação de um modelo híbrido e gradual em Portugal poderia seguir uma abordagem faseada, priorizando projetos-piloto em áreas específicas, como a neurroradiologia. O foco inicial poderia ser na gestão de

consentimentos de pacientes e na auditoria de acessos, evitando uma implementação em larga escala imediata para garantir a segurança e eficácia do sistema.

Paralelamente, será fundamental estabelecer um quadro regulatório e de governação para esta tecnologia, que esteja em conformidade com o contexto regulamentar da União Europeia. Em particular o objetivo é harmonizar as práticas de governação com as orientações de entidades nacionais, como a CNPD (Comissão Nacional de Proteção de Dados), e consórcios tecnológicos como o Blockchain.PT, garantindo a segurança jurídica e a proteção dos direitos dos cidadãos no uso de novas tecnologias, dentro dos parâmetros definidos pelo direito comunitário.

Para assegurar a viabilidade deste tipo de projeto, é essencial promover a capacitação e aceitação profissional. A formação de profissionais de saúde e gestores é essencial para o uso efetivo da tecnologia. Estudos sugerem que os médicos portugueses estão recetivos a estas inovações, desde que a segurança e uma interface intuitiva sejam garantidas.

Por fim, a implementação da tecnologia neste modelo depende de financiamento e da colaboração multi-sectorial, sendo necessário alavancar o financiamento do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) e a colaboração com entidades de investigação, como o INESC TEC e a SPMS - Serviços Partilhados do Ministério da Saúde, para desenvolver soluções robustas e interoperáveis.

5. CONCLUSÃO

Esta dissertação centrou-se na compreensão da atual situação da aplicação da tecnologia Blockchain na área da saúde em Portugal e nos potenciais benefícios da sua implementação. Para isso foram avaliadas adicionalmente duas realidades comparativas no continente europeu, onde esta tecnologia já em implementação, tem benefícios reconhecidos: a do modelo de saúde do Reino Unido (onde se inspirou o SNS português e por ser fragmentado), e a do modelo de saúde da Estónia (um dos países europeus mais digitalizados e onde numa década esta tecnologia foi implementada com sucesso).

O contributo teórico deste estudo é predominantemente de carácter exploratório, sintético e prospetivo. A investigação focou-se primariamente numa avaliação global do estado da arte, com o objetivo de sintetizar o conhecimento existente sobre a aplicação da

tecnologia blockchain na gestão e partilha de dados de imagem de alto volume e sensibilidade na neurroradiologia. Este nicho específico e complexo da saúde foi analisado para compreender como as abordagens atuais lidam com a segurança, a transparência e o controlo do paciente sobre os seus dados. A análise de casos transnacionais permitiu o desenvolvimento de um quadro teórico e conceptual, formulando um modelo para a implementação segura e eficiente da blockchain na partilha de imagens neurroradiológicas entre diferentes instituições e países, através de uma análise comparativa de modelos que avaliou a eficácia, desafios e benefícios de diferentes abordagens de implementação em variados contextos geográficos e legais.

Paralelamente, o estudo teve como contributo a identificação de lacunas de investigação cruciais que necessitam de mais atenção. Foram postas em evidência áreas inexploradas e desafios significativos, como a complexa interoperabilidade técnica entre diferentes sistemas de arquivo e comunicação de imagens (PACS) e as plataformas de blockchain. Além disso, a investigação sublinhou a importância de abordar a escalabilidade e as barreiras regulatórias transfronteiriças, especificamente a conformidade com quadros legais rigorosos como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD) para atingir a meta do Espaço Europeu de Dados de Saúde (EEDS), aspetos que são vitais para a viabilidade prática da tecnologia a nível global europeu.

O contributo prático deste estudo reporta-se ao facto de implementação da tecnologia blockchain na saúde ter deixado de ser uma promessa teórica para se tornar o alicerce de uma transformação real do setor da saúde. Ao fornecer evidências robustas e evidências práticas, esta tecnologia fundamenta a tomada de decisão de profissionais de saúde, gestores hospitalares e decisores políticos. Através de um registo descentralizado, a gestão de dados pode alcançar um novo patamar de eficiência, erradicando a duplicação desnecessária de exames e acelerando o percurso clínico para diagnósticos mais céleres e precisos.

Esta evolução não se limita ao campo das ideias; materializa-se na orientação de futuros projetos-piloto. Os casos de estudo transnacionais aqui apresentados funcionam como guiões, permitindo que novas iniciativas ou a expansão de infraestruturas já

existentes, particularmente na área da neurorradiologia, sejam implementadas com menor risco e maior eficácia.

Por último o verdadeiro poder desta inovação reside na sua capacidade de potencializar a colaboração científica. Ao garantir um acesso aos dados de forma imutável, a blockchain cria um ambiente de confiança onde a investigação e a telemedicina transnacional, incluindo a telerradiologia, podem prosperar. O resultado é um ecossistema de partilha de conhecimento que é, simultaneamente, seguro, transparente e totalmente auditável, redefinindo as fronteiras da medicina moderna.

O método de estudo adotado foi o da revisão sistemática narrativa estruturada da literatura, complementada por uma análise de casos transnacionais.

Neste sentido foram formuladas as seguintes perguntas de investigação:

Primeira pergunta: Existem condições em Portugal para a utilização do blockchain na área da saúde?

Segunda pergunta: Quais seriam os benefícios da implementação do blockchain na saúde com foco na neurorradiologia?

A procura da resposta à primeira pergunta tornou-se assim o objetivo desta investigação e a resposta é sim, existem condições em Portugal para a implementação da tecnologia blockchain na saúde.

Em primeiro lugar o sistema de saúde português, que inclui o Serviço Nacional de Saúde (SNS), subsistemas de saúde especiais e prestadores privados, integra plataformas digitais de saúde e supervisão regulamentar de forma a gerir os dados de saúde. Esta interligação entre o sistema de saúde privado e o SNS, ocorre em parte através do Portal SNS, mas não é abrangente.

O Portal do SNS é um ponto de acesso centralizado aos dados clínicos dos pacientes, mas o sistema global inclui elementos descentralizados atendendo à infraestrutura fragmentada e aos diferentes estádios de adoção digital entre as diferentes instituições de saúde. Esta configuração híbrida é determinante para os desafios de interoperabilidade e segurança.

A infraestrutura de saúde digital que controla os dados tem por base a Plataforma de Dados da Saúde (PDS), gerida pelos Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS). Os pacientes, quando necessário, ultrapassam dificuldades de integração global

dos seus dados de saúde, tendo que transferir pessoal e manualmente os seus dados entre as diferentes instituições de saúde que frequentemente, o que evidencia a necessidade de uma alteração estrutural profunda que solucione a partilha eficiente e segura de dados entre diferentes instituições de saúde.

Os sistemas regulatórios vigentes têm normas de privacidade estritas, protegendo o direito à privacidade dos dados, limitando a sua partilha não autorizada, mas por outro lado também podem contribuir para dificultar a sua integração global, na atual forma.

Em 2025, o quadro regulatório e de supervisão em Portugal está numa fase de maturação normativa em função das diretivas europeias para o ordenamento jurídico nacional. O regulamento MiCA (*Markets in Crypto-Assets Regulation*) e os novos mecanismos de supervisão aplicáveis às tecnologias *blockchain* contribuem para um quadro referencial de conformidade mitigando riscos operacionais e promovendo a confiança institucional no mercado.

Este ecossistema é complementado pela operacionalização das Zonas Livres Tecnológicas (ZLT), que permitem a experimentação de inovações tecnológicas em ambiente controlado, assegurando que o desenvolvimento de soluções em *blockchain* seja monitorizado por autoridades competentes antes de uma eventual implementação global. As evoluções tecnológicas seguem estritamente o cumprimento do Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), optando pela utilização de técnicas avançadas de encriptação e anonimização como garantias fundamentais da integridade e privacidade dos dados sensíveis.

Em Portugal em 2025 a Agenda "Blockchain.PT" (consórcio privado e académico), é um projeto apoiado institucionalmente pelo Governo de Portugal, financiada por fundos europeus através do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) estando em curso, com previsão de conclusão de metas a curto prazo.

As estratégias proativas de saúde digital de Portugal, de acordo com os Serviços Partilhados do Ministério da Saúde (SPMS, 2020), nomeadamente o plano ENESIS 20-22, bem como o BioData.pt (2025), posicionam positivamente o país para a futura adoção da *blockchain* na área da saúde. A tecnologia *blockchain* está em evolução mas tem limitações de interoperabilidade e eficiência energética.

Os principais desafios da implementação da tecnologia blockchain são a escalabilidade, os custos elevados (por exemplo, taxas de gás Ethereum) e o alinhamento regulatório. A falta de conhecimentos, de competências dos profissionais e a perceção de complexidade constituem outro tipo de barreiras à implementação da blockchain.

Relativamente à segunda pergunta, de quais seriam os benefícios da implementação do blockchain na saúde com foco na neurroradiologia, obtiveram-se em primeiro lugar respostas para os benefícios na saúde em geral e num segundo plano para a neurroradiologia.

As vantagens da introdução da tecnologia *blockchain* no sistema de saúde português são garantia de segurança e privacidade dos dados clínicos através de registos imutáveis e de encriptação avançada. Esta arquitetura protege o histórico médico contra acessos indevidos e ciberataques, assegurando que a informação sensível permanece incorruptível e auditável. A blockchain confere maior controlo aos pacientes sobre os seus dados clínicos, empoderando-os.

A tecnologia da cadeia de blocos promove a interoperabilidade entre as diversas unidades do SNS e o setor privado, permitindo a partilha segura de dados em tempo real. Simultaneamente, devolve o controlo ao utente, que passa a gerir as permissões de acesso ao seu processo clínico de forma transparente, reforçando o seu papel central no sistema de saúde.

Na vertente logística, a *blockchain* permite a rastreabilidade integral da cadeia de abastecimento de medicamentos, combatendo a contrafação, minimizar fraudes como registos duplicados (duplicação de exames) ou reclamações falsas, e otimizar a gestão de reservas (*stocks*) e equipamentos. A automação de processos administrativos através de contratos inteligentes (*smart contracts*) reduz significativamente a burocracia (automatizando o faturamento ou agendando consultas) e o erro humano, acelerando procedimentos como reembolsos e validação de credenciais (conhecimento especializado dos profissionais de saúde é autêntico e atualizado), públicos e privados, tendo impacto positivo nos custos administrativos, reduzindo-os.

A *blockchain* atua como a infraestrutura de confiança que permite que a Gestão do Conhecimento (GC)⁵⁷ na saúde evolua de sistemas isolados para uma rede colaborativa, segura e centrada no paciente.

A *blockchain* potencia a inovação na investigação clínica ao garantir a integridade de dados em ensaios clínicos. Esta abordagem facilita o desenvolvimento de novos tratamentos em conformidade com o RGPD, consolidando Portugal como um centro de referência e transparência na gestão de dados biomédicos, da inovação científica em saúde e na indústria.

No que respeita às realidades comparadas a Estónia está à frente na implementação de blockchain na saúde, mas tal como o Reino Unido e Portugal, não tem aplicações específicas em neurroradiologia. Os três países partilham o reconhecimento do potencial do blockchain para segurança, interoperabilidade e integração com IA, mas enfrentam lacunas como escalabilidade, falta de projetos pilotos específicos e desafios regulatórios. O RU tem vantagem em pesquisa e IA, enquanto Portugal precisa de maior investimento, encontrando-se num estágio mais atrasado, com as suas prioridades de saúde digital focadas na consolidação de sistemas genéricos, como as e-prescrições. Contudo esta fraqueza representa também uma oportunidade estratégica. Portugal poderia acelerar a implementação da blockchain inspirando-se no modelo estoniano e estabelecendo colaborações internacionais no contexto europeu, neste caso com a Estónia e Reino Unido, que seriam importantes para desenhar projetos-piloto que possam integrar a segurança da *blockchain* nas necessidades específicas da neurroradiologia portuguesa, saltando etapas de maturação tecnológica através da transferência de conhecimento. A colaboração com estes países, poderia preencher as lacunas existentes e posicionar a neurroradiologia portuguesa num campo pioneiro no uso da blockchain.

Em conclusão a blockchain não é apenas uma solução tecnológica, mas um instrumento potencial de reforma institucional e de governação dos dados em saúde.

⁵⁷ A Gestão do Conhecimento (GC) é o processo estratégico de identificar, capturar, organizar, armazenar e partilhar o capital intelectual de uma organização ou sistema. O seu objetivo principal é transformar informações dispersas em conhecimento útil que possa ser utilizado para tomar melhores decisões e promover a inovação.

BIBLIOGRAFIA

- AbdelSalam, F. M. (2023). Blockchain Revolutionizing Healthcare Industry: A Systematic Review of Blockchain Technology Benefits and Threats. *Perspectives in Health Information Management*, 20(3), 1b.
- Abdorrahimi, B., Nekouie, A., Rahmani, A. M., Lansky, J., Nulíček, V., Hosseinzadeh, M., & Moattar, M. H. (2024). Blockchain technology and raft consensus for secure physician prescriptions and improved diagnoses in electronic healthcare systems. *Scientific Reports*, 14(1), 15692. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66746-y>
- Abdullah, S., Rothenberg, S., Siegel, E., & Kim, W. (2020). School of Block–Review of Blockchain for the Radiologists. *Academic Radiology*, 27(1), 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.06.025>
- Abu-elezz, I., Hassan, A., Nazeemudeen, A., Househ, M., & Abd-alrazaq, A. (2020). The benefits and threats of blockchain technology in healthcare: A scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, 142, 104246. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2020.104246>
- Administração Central do Sistema Saúde, IP. (2025). *ACSS - Página Inicial*. <https://www.acss.min-saude.pt/>
- Adwani, R. (2025). *Blockchain Applications Beyond Cryptocurrency: Transforming Industries* (SSRN Scholarly Paper No. 5162028). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5162028>
- Agbo, C. C., Mahmoud, Q. H., & Eklund, J. M. (2019). Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review. *Healthcare*, 7(2), 56. <https://doi.org/10.3390/healthcare7020056>

-
- Ahmad, R. W., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., Ellahham, S., & Omar, M. (2021). The role of blockchain technology in telehealth and telemedicine. *International Journal of Medical Informatics*, 148, 104399. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104399>
- Amazon Web Services. (sem data). *O que é a tecnologia blockchain? – Explicação sobre o uso da tecnologia blockchain – AWS*. Amazon Web Services, Inc. Obtido 12 de dezembro de 2025, de <https://aws.amazon.com/pt/what-is/blockchain/>
- Antier Team. (2024, maio 1). Camada 1 vs Camada 2 vs Camada 3 – Uma Análise Comparativa de Soluções de Escalonamento de Blockchain. *Antier Solutions*. <https://www.antiersolutions.com/pt/Blogs/camada-1-vs-camada-2-vs-camada-3%3A-uma-an%C3%A1lise-comparativa-de-solu%C3%A7%C3%B5es-de-dimensionamento-de-blockchain/>
- Antonopoulos, A. M. (2017). *Mastering Bitcoin, 2nd Edition*. <https://www.oreilly.com/library/view/mastering-bitcoin-2nd/9781491954379/>
- Arslanian, H. (2022). Ethereum. Em H. Arslanian (Ed.), *The Book of Crypto: The Complete Guide to Understanding Bitcoin, Cryptocurrencies and Digital Assets* (pp. 91–98). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97951-5_3
- Atlam, H. F., & Wills, G. B. (2019a). Chapter One—Technical aspects of blockchain and IoT (n é este). Em S. Kim, G. C. Deka, & P. Zhang (Eds.), *Advances in Computers* (Vol. 115, pp. 1–39). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.10.006>
- Ayatollahi, H., & Zeraatkar, K. (2020). Factors influencing the success of knowledge management process in health care organisations: A literature review. *Health Information & Libraries Journal*, 37(2), 98–117. <https://doi.org/10.1111/hir.12285>

-
- Baines, R., Stevens, S., Austin, D., Anil, K., Bradwell, H., Cooper, L., Maramba, I. D., Chatterjee, A., & Leigh, S. (2024). Patient and Public Willingness to Share Personal Health Data for Third-Party or Secondary Uses: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e50421. <https://doi.org/10.2196/50421>
- Baran, P. (1964). *On Distributed Communications: I. Introduction to Distributed Communications* Networks. https://www.rand.org/pubs/research_memoranda/RM3420.html
- Bathula, A., Gupta, S. K., Merugu, S., Saba, L., Khanna, N. N., Laird, J. R., Sanagala, S. S., Singh, R., Garg, D., Fouda, M. M., & Suri, J. S. (2024). Blockchain, artificial intelligence, and healthcare: The tripod of future—a narrative review. *Artificial Intelligence Review*, 57(9), 238. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10873-5>
- Bazel, M. A., Mohammed, F., & Ahmad, M. (2023). A Systematic Review on the Adoption of Blockchain Technology in the Healthcare Industry. *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, 9, e3–e3. <https://doi.org/10.4108/eetpht.v9i.2844>
- Bem, B. M. B. P. do. (2022). *ÁREA CIENTÍFICA DE ECONOMIA E GESTÃO DA SAÚDE*. <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/102281/1/Conhecimento%20e%20perc%20e%20C3%A7%C3%A3o%20dos%20m%C3%A9dicos%20portugueses%20sobre%20aplica%C3%A7%C3%B5es%20inform%C3%A1ticas%20na%20medicina%20-%20a%20blockchain.pdf>
- BioData.pt—Infraestrutura Portuguesa de Dados Biológicos* | *BioData.pt*. (2017, junho 17). <https://biodata.pt/pt/projects/biodatapt>
- Blockchain 2022 Portugal: Law & Practice*. Vda. <http://practiceguides.chambers.com/>

-
- Blockchain-in-the-NHS-VF_1*. (sem data). www.reform.uk. Obtido 16 de dezembro de 2025, de https://reform.uk/wp-content/uploads/2018/12/Blockchain-in-the-NHS-VF_1.pdf
- Caudo, D. (2023). Artificial intelligence, machine learning and deep learning in neuroradiology: Current applications. *Oncology and Radiotherapy* 17 (1) 2023: 018-029, 17(1), 018–029.
- Ceren Türkdoğan Görgün & Arzu Kurşun. (2021, maio 20). *Benefits of Blockchain Technology in Healthcare and the Case of Estonia*.
- Chagas, E. T. D. O. (2019). Deep Learning e suas aplicações na atualidade. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 04(05), 05–26.
- COMISSÃO TÉCNICA INDEPENDENTE ULS UNIVERSITÁRIAS. (2025). *CTI-ULS-Relatorio-Final-Comissao tecnica independente para estudo das Estudo das ULS*. <https://www.sns.gov.pt/wp-content/uploads/2025/02/CTI-ULS-Relatorio-Final-30-Jan-2025.pdf>
- Conselho Nacional de Saúde. (2024, junho). *CNS-Relatorio-Sistema-de-Informacao-de-Saude*. <https://www.cns.min-saude.pt/wp-content/uploads/2024/05/CNS-Relatorio-Sistema-de-Informacao-de-Saude.pdf>
- Conway, D., Venkataraman, M., Laverick, D., Pelin, G., & Hasselgren, A. (2022). BLOCKCHAIN IN HEALTHCARE TODAY: 2022 PREDICTIONS. *Blockchain in Healthcare Today*, 5, 10.30953/bhty.v5.194. <https://doi.org/10.30953/bhty.v5.194>
- Cryptomus. (2025, novembro 24). *Pagamentos ETH: Como pagar com Ethereum*. <https://cryptomus.com/pt/blog/eth-payment-method-how-to-pay-with-ethereum>
- D. Saxena, & J.K. Verma. (2020). Blockchain for public health: Technology, applications, and a case study. Em *Computational Intelligence and Its*

-
- Applications in Healthcare* (pp. 53–61). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820604-1.00004-2>
- Digital Health Portugal. (2024, janeiro 30). *The Portuguese eHealth Strategy*.
<https://www.digitalhealthportugal.pt/>
- Dinc, R., & Ardic, N. (2024). An Evaluation of Opportunities and Challenges of Blockchain Technology in Healthcare. *British Journal of Hospital Medicine*, 85(11), 1–19. <https://doi.org/10.12968/hmed.2024.0355>
- Dr. Hempel Digital Health Network. (2017). *Medical implementation of blockchain technology in Estonia | A case study*. <https://www.dr-hempel-network.com/digital-health-technology/medical-blockchain-technology-implementation/>
- Duong, M. T., Rauschecker, A. M., & Mohan, S. (2020). Diverse Applications of Artificial Intelligence in Neuroradiology. *Neuroimaging Clinics of North America*, 30(4), 505–516. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2020.07.003>
- Dutta, S. (2025, fevereiro 19). *Blockchain for Healthcare: Benefits and Use Cases*.
<https://www.turing.com/resources/blockchain-for-healthcare>
- e-Estonia. (2021, outubro 20). *e-Estonia: We have built a digital society and we can show you how*. e-Estonia. <https://e-estonia.com/>
- Elangovan, D., Long, C. S., Bakrin, F. S., Tan, C. S., Goh, K. W., Yeoh, S. F., Loy, M. J., Hussain, Z., Lee, K. S., Idris, A. C., & Ming, L. C. (2022). The Use of Blockchain Technology in the Health Care Sector: Systematic Review. *JMIR Medical Informatics*, 10(1), e17278. <https://doi.org/10.2196/17278>
- Enesis 20-22 – SPMS*. (sem data). Obtido 24 de dezembro de 2025, de <https://www.spms.min-saude.pt/enesis-2/>

-
- Esposito, C., De Santis, A., Tortora, G., Chang, H., & Choo, K.-K. R. (2018). Blockchain: A Panacea for Healthcare Cloud-Based Data Security and Privacy? *IEEE Cloud Computing*, 5(1), 31–37. <https://doi.org/10.1109/MCC.2018.011791712>
- Estratégia Nacional de Blockchain*. (sem data-b). Obtido 25 de dezembro de 2025, de <https://digital.gov.pt/pt/estrategias/plano-de-acao-para-a-transicao-digital/estrategias-para-a-transicao-digital/estrategia-nacional-de-blockchain>
- European Commission. (2020). *MEDICALCHAIN | Knowledge for policy*. https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/tool/dlt4good/medicalchain_en
- European Commission. (2024). *Digital Decade 2024: eHealth Indicator Study*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-decade-2024-ehealth-indicator-study>
- European Commission. (sem data). *Blockchain and web3 strategy | Shaping Europe's digital future*. Obtido 23 de dezembro de 2025, de <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-strategy>
- European Society of Radiology (ESR). (2021). ESR white paper: Blockchain and medical imaging. *Insights into Imaging*, 12(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01029-y>
- Fabiano, N. (2017). Internet of Things and the Legal Issues related to the Data Protection Law according to the new European General Data Protection Regulation. *ATHENS JOURNAL OF LAW*, 3(3), 201–214. <https://doi.org/10.30958/ajl.3-3-2>
- Ferraro, P., King, C., & Shorten, R. (2018). Distributed Ledger Technology for Smart Cities, the Sharing Economy, and Social Compliance. *IEEE Access*, 6, 62728–62746. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2876766>

-
- Gao, C., Xu, K., Kim, M. E., Zuo, L., Li, Z., Archer, D. B., Hohman, T. J., Moore, A. Z., Ferrucci, L., Beason-Held, L. L., Resnick, S. M., Davatzikos, C., Prince, J. L., & Landman, B. A. (2025). Pitfalls of defacing whole-head MRI: Re-identification risk with diffusion models and compromised research potential. *Computers in Biology and Medicine*, *197*, 111112. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2025.111112>
- Gate. (2025, novembro 27). *Quais são os maiores incidentes de segurança no mercado cripto e como é possível preveni-los?* Gate. <https://www.gate.com/pt-br/crypto-wiki/article/what-are-the-biggest-crypto-security-breaches-and-how-can-they-be-prevented-20251127>
- Gaynor, M., Tuttle-Newhall, J., Parker, J., Patel, A., & Tang, C. (2020). Adoption of Blockchain in Health Care. *Journal of Medical Internet Research*, *22*(9), e17423. <https://doi.org/10.2196/17423>
- GeeksforGeeks. (2025, outubro 14). *Difference Between Edge Computing and Fog Computing*. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering/difference-between-edge-computing-and-fog-computing/>
- George, S. L., & Buyse, M. (2015). Data fraud in clinical trials. *Clinical investigation*, *5*(2), 161–173. <https://doi.org/10.4155/cli.14.116>
- Ghorashi, N., Rahimi, M., Sirous, R., & Javan, R. (2023). The Intersection of Radiology With Blockchain and Smart Contracts: A Perspective. *Cureus*, *15*. <https://doi.org/10.7759/cureus.46941>
- Gordon, W. J., & Catalini, C. (2018). Blockchain Technology for Healthcare: Facilitating the Transition to Patient-Driven Interoperability. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, *16*, 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.06.003>

Government Office for Science. (2017). *Government Office for Science: Annual Report 2015-16*.

<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7f94f5ed915d74e33f751d/go-science-annual-report-2015-16.pdf>

Governo de Portugal. (2020, abril 21). *Cria a Estrutura de Missão Portugal Digital*.

<https://bo.digital.gov.pt/api/assets/etic/f388d96b-9b13-4a6f-bbf5-23d29ccc0f52/>

Governo de Portugal. (sem data). *Serviço Nacional de Saúde*. Obtido 12 de dezembro de

2025, de <https://www.sns.gov.pt/sns/servico-nacional-de-saude/>

Grand View Research. (2025). *Blockchain Technology In Healthcare Market Report*

(2025-2030). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/blockchain-technology-healthcare-market>

Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of*

Cryptology, 3(2), 99–111. <https://doi.org/10.1007/BF00196791>

Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Suman, R., & Rab, S. (2021). Blockchain technology applications in healthcare: An overview. *International Journal of*

Intelligent Networks, 2, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2021.09.005>

Hanna, K. (2025, agosto 28). *What is HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act)? | Definition from TechTarget*. Techtarget.Com.

<https://www.techtarget.com/searchhealthit/definition/HIPAA>

Hasselgren, A., Kralevska, K., Gligoroski, D., Pedersen, S. A., & Faxvaag, A. (2020).

Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, 134, 104040.

<https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.104040>

-
- Healthcare Marketing Service. (2025, outubro 16). *Innovate with healthcare blockchain: Strategies for the UK*. <https://healthcaremarketingservice.com/innovate-with-healthcare-blockchain-strategies-for-the-uk/>
- HealthManagement.org. (sem data). *Radiology Management, ICU Management, Healthcare IT, Cardiology Management, Executive Management*. Obtido 10 de dezembro de 2025, de <https://healthmanagement.org/c/hospital/issuearticle/blockchain-for-radiology>
- Heston, T. F. (2017). *Why Blockchain Technology Is Important for Healthcare Professionals* (SSRN Scholarly Paper No. 3006389). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3006389>
- História do SNS*. (sem data). Obtido 16 de dezembro de 2025, de <https://www.sns.gov.pt/sns/servico-nacional-de-saude/historia-do-sns/>
- Hugoson, M.-Å. (2009). Centralized versus Decentralized Information Systems. Em J. Impagliazzo, T. Järvi, & P. Paju (Eds.), *History of Nordic Computing 2* (pp. 106–115). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03757-3_11
- IBM. (2021a, julho 27). *What Are Smart Contracts on Blockchain?* <https://www.ibm.com/think/topics/smart-contracts>
- IBM. (2021b, julho 29). *What is IoT with Blockchain?* <https://www.ibm.com/think/topics/blockchain-iot>
- INESC-ID Lisboa. (sem data). *Life and Health Technology*. INESC-ID:Home-Thematic Lines. Obtido 10 de dezembro de 2025, de <https://www.inesc-id.pt/>
- INFARMED. (2011, maio 18). *Portaria n.º 198/2011, de 18 de Maio*. https://www.infarmed.pt/documents/15786/1068535/044_Port_198_2011_1ALT_REV.pdf

-
- J, A., Isravel, D. P., Sagayam, K. M., Bhushan, B., Sei, Y., & Eunice, J. (2023). Blockchain for healthcare systems: Architecture, security challenges, trends and future directions. *Journal of Network and Computer Applications*, 215, 103633. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2023.103633>
- Kasyapa, M. S. B., & Vanmathi, C. (2024). Blockchain integration in healthcare: A comprehensive investigation of use cases, performance issues, and mitigation strategies. *Frontiers in Digital Health*, 6, 1359858. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2024.1359858>
- Kawano, K., Orimo, M., & Mori, K. (1989). Autonomous decentralized system test technique. [1989] *Proceedings of the Thirteenth Annual International Computer Software & Applications Conference*, 52–57. <https://doi.org/10.1109/CMPSAC.1989.65053>
- Khosravi, P., & Schweitzer, M. (2023). Artificial intelligence in neuroradiology: A scoping review of some ethical challenges. *Frontiers in Radiology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fradi.2023.1149461>
- Kompalli, S., & Shah, S. (2025, dezembro 10). *How Blockchain Could Solve Radiology's Problems | Diagnostic Imaging*. <https://www.diagnosticimaging.com/view/how-blockchain-could-solve-radiologys-problems>
- Kotter, E., D'Antonoli, T. A., Cuocolo, R., Hierath, M., Huisman, M., Klontzas, M. E., Martí-Bonmatí, L., May, M. S., Neri, E., Nikolaou, K., Pinto Dos Santos, D., Radzina, M., Shelmerdine, S. C., Bellemo, A., & European Society of Radiology (ESR). (2025). Guiding AI in radiology: ESR's recommendations for effective implementation of the European AI Act. *Insights into Imaging*, 16(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s13244-025-01905-x>

-
- Kotter, E., Marti-Bonmati, L., Brady, A. P., Desouza, N. M., & European Society of Radiology (ESR). (2021). ESR white paper: Blockchain and medical imaging. *Insights into Imaging*, 12(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01029-y>
- Kuo, T.-T., Kim, H.-E., & Ohno-Machado, L. (2017). Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 24(6), 1211–1220. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocx068>
- Luz, N. L. da & Silva, T.G. da. (2025). *Blockchain 2025—Portugal. Global Practice Guides. Chambers and Partners*. <https://practiceguides.chambers.com/practice-guides/blockchain-2025/portugal/trends-and-developments>
- Makarov, I., & Schoar, A. (2022). Cryptocurrencies and Decentralized Finance (DeFi). *Brookings Papers on Economic Activity*, 2022(1), 141–215.
- Marques Augusto, F. (2022). *Tecnologia Blockchain Vantagens da sua utilização na Indústria Marítima*. <http://hdl.handle.net/10400.26/41543>
- McBee, M. P., & Wilcox, C. (2020). Blockchain Technology: Principles and Applications in Medical Imaging. *Journal of Digital Imaging*, 33(3), 726–734. <https://doi.org/10.1007/s10278-019-00310-3>
- Ministério de Saúde. (sem data). *Sobre os Sistemas de Informação – SPMS*. Obtido 28 de setembro de 2025, de <https://www.spms.min-saude.pt/sobre-os-sistemas-de-informacao/>
- Miotto, R., Wang, F., Wang, S., Jiang, X., & Dudley, J. T. (2018). Deep learning for healthcare: Review, opportunities and challenges. *Briefings in Bioinformatics*, 19(6), 1236–1246. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx044>

-
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ*, *339*, b2535. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
- Montagnon, E., Cerny, M., Cadrin-Chênevert, A., Hamilton, V., Derennes, T., Ilinca, A., Vandenbroucke-Menu, F., Turcotte, S., Kadoury, S., & Tang, A. (2020). Deep learning workflow in radiology: A primer. *Insights into Imaging*, *11*(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0832-5>
- Moreira, T., Mendonça, H., Gamito, C., & Kindylidi, I. (2022).
- Murphy, K., Di Ruggiero, E., Upshur, R., Willison, D. J., Malhotra, N., Cai, J. C., Malhotra, N., Lui, V., & Gibson, J. (2021). Artificial intelligence for good health: A scoping review of the ethics literature. *BMC Medical Ethics*, *22*(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s12910-021-00577-8>
- Näher, A.-F., Vorisek, C. N., Klopfenstein, S. A. I., Lehne, M., Thun, S., Alsalamah, S., Pujari, S., Heider, D., Ahrens, W., Pigeot, I., Marckmann, G., Jenny, M. A., Renard, B. Y., von Kleist, M., Wieler, L. H., Balzer, F., & Grabenhenrich, L. (2023). Secondary data for global health digitalisation. *The Lancet. Digital Health*, *5*(2), e93–e101. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00195-9](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00195-9)
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3440802>
- Ng, W. Y., Tan, T.-E., Movva, P. V. H., Fang, A. H. S., Yeo, K.-K., Ho, D., Foo, F. S. S., Xiao, Z., Sun, K., Wong, T. Y., Sia, A. T.-H., & Ting, D. S. W. (2021). Blockchain applications in health care for COVID-19 and beyond: A systematic review. *The Lancet Digital Health*, *3*(12), e819–e829. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00210-7](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00210-7)

-
- Nguyen, D. C., Pathirana, P. N., Ding, M., & Seneviratne, A. (2019). Blockchain for Secure EHRs Sharing of Mobile Cloud Based E-Health Systems. *IEEE Access*, 7, 66792–66806. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2917555>
- NHS mandate 2016 to 2017. (2017, março 20). GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/publications/nhs-mandate-2016-to-2017>
- Norton Rose Fulbright. (sem data). *FinTech law and regulation*. <https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/resources-and-tools/blockchain-fintech-law-and-regulation>. Obtido 22 de dezembro de 2025, de <https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/resources-and-tools/blockchain-fintech-law-and-regulation>
- One London Online. (2025, março 3). *A-Framework-for-the-safe-efficient-and-effective-implementation-use-and-maintenance-of-AI-in-health-and-care-in-London*. <https://www.onelondon.online/wp-content/uploads/2025/03/A-Framework-for-the-safe-efficient-and-effective-implementation-use-and-maintenance-of-AI-in-health-and-care-in-London.pdf>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Parlamento Europeu e o Conselho. (2016). : *Regulamento(UE) n.º 679/2016, de 27 de Abril*. https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=2961&tabela=leis

-
- Peerzada, M. I., & Kumar, R. (2025). Teleradiology: A review of growth, challenges, and future potential. *Medicine India*, 4(2), 47–58.
https://doi.org/10.25259/MEDINDIA_26_2025
- Pereira, T. G. (2025, dezembro 25). *Saúde*. «Estamos a duplicar exames, em alguns casos com situações dramáticas», alerta Health Cluster Portugal. Diário de Notícias.
<https://www.dn.pt/sociedade/sadeestamos-a-duplicar-exames-em-alguns-casos-com-situacoes-dramaticas-alerta-health-cluster-portugal>
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., & Mattsson, M. (2008, junho 1). *Systematic Mapping Studies in Software Engineering*. 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE).
<https://doi.org/10.14236/ewic/EASE2008.8>
- Portal do SNS. (sem data). Obtido 26 de dezembro de 2025, de <https://www.sns.gov.pt/>
- Portugal. (2005). *Lei n.º 12/2005, de 26 de Janeiro*.
https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1660&tabela=leis
- Portugal. (sem data). *Lei n.º 52/2014 | DR*. Obtido 23 de dezembro de 2025, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/52-2014-56346572>
- Portugal. (sem data). *Lei n.º 58/2019 | DR*. Obtido 23 de dezembro de 2025, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/58-2019-123815982>
- Portugal. *Decreto-Lei n.º 67/2021 | DR*. (sem data). Obtido 26 de dezembro de 2025, de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/67-2021-168697990>
- Portugal. *Direção-Geral das Atividades Económicas*. (2021, julho 30). *Zonas Livres Tecnológicas | Inovação e Transição Digital*.
<https://www.dgae.gov.pt/comunicacao/destaques/zonas-livres-tecnologicas-inovacao-e-transicao-digital.aspx>

-
- Reiff, N. (2025, janeiro 19). *How Healthcare Is Applying Blockchain Technology*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/tech/how-health-care-moving-toward-blockchain/>
- Renascença. (2025, dezembro 17). *IGAS admite que caso das cirurgias adicionais no Hospital de Santa Maria pode não ser único—Renascença*. Rádio Renascença. <https://rr.pt/noticia/pais/2025/12/17/igas-admite-que-caso-das-cirurgias-adicionais-no-hospital-de-santa-maria-pode-nao-ser-unico/451980/>
- Reyna, A., Martín, C., Chen, J., Soler, E., & Díaz, M. (2018). On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 88, 173–190. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.05.046>
- Rodrigues, J., & Modro, N. R. (2024). Blockchain na Saúde: Avanços, Desafios e Perspectivas Blockchain in Healthcare: Advances, Challenges, and Perspectives. *VII Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia - INOVA*. <https://eventos.udesc.br/ocs/index.php/inova/2024/paper/view/2905>
- Sabah, N., Sagheer, A., & Dawood, O. (2021). Survey: (Blockchain-Based Solution for COVID-19 and Smart Contract Healthcare Certification). *Iraqi Journal for Computer Science and Mathematics*, 1–8. <https://doi.org/10.52866/ijcsm.2021.02.01.001>
- Saeed, H., Malik, H., Bashir, U., Ahmad, A., Riaz, S., Ilyas, M., Bukhari, W. A., & Khan, M. I. A. (2022b). Blockchain technology in healthcare: A systematic review. *PloS One*, 17(4), e0266462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266462>
- Scale Computing. (2023). *Edge Computing Vs. Fog Computing Vs. Cloud Computing*. <https://www.scalecomputing.com/resources/edge-computing-vs-fog-computing-vs-cloud-computing>

-
- Schinckus, C. (2022). A Nuanced perspective on blockchain technology and healthcare. *Technology in Society*, 71, 102082. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102082>
- Schreck, I. (2025, setembro 23). *Falhas informáticas no SNS: Médicos dizem que são evitáveis e acusam serviços partilhados de “irresponsabilidade”*. PÚBLICO. <https://www.publico.pt/2025/09/23/sociedade/noticia/falhas-informaticas-sns-medicos-sao-evitaveis-acusam-servicos-partilhados-irresponsabilidade-2148211>
- Shadab, H. (2014, dezembro 15). Smart Contracts. *Coin Center*. <https://www.coincenter.org/education/key-concepts/smart-contracts/>
- Shae, Z., & Tsai, J. (2018). Transform Blockchain into Distributed Parallel Computing Architecture for Precision Medicine. *2018 IEEE 38th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, 1290–1299. <https://doi.org/10.1109/ICDCS.2018.00129>
- Sharma, A., Sarishma, Tomar, R., Chilamkurti, N., Kim, B.-G., Sharma, A., Sarishma, Tomar, R., Chilamkurti, N., & Kim, B.-G. (2020). Blockchain Based Smart Contracts for Internet of Medical Things in e-Healthcare. *Electronics*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/electronics9101609>
- SIC Notícias. (2025, novembro 13). *Hospitais gastaram mais de 627 milhões de euros com cirurgias adicionais*. <https://sicnoticias.pt/pais/2025-11-13-hospitais-gastaram-mais-de-627-milhoes-de-euros-com-cirurgias-adicionais-b7b31b13>
- Soares, B., Ferreira, A., & Veiga, P. M. (2023). The Benefits and Challenges of Blockchain Technology and eHealth Implementation in Estonia—A Literature Review. *Applied Medical Informatics*, 45(4). <https://ami.info.umfcluj.ro/index.php/AMI/article/view/990>

-
- SPMS. (2023). *Apresentação do consórcio Blockchain.PT acolhe visão da SPMS*. SPMS. <https://www.spms.min-saude.pt/2023/11/apresentacao-do-consorcio-blockchain-pt-acolhe-visao-da-spms/>
- SPMS. (2025, março 3). *White-Paper_Inteligencia-Artificial-na-Saude-em-Portugal (Fevereiro 2025)*. <https://www.spms.min-saude.pt/2025/03/inteligencia-artificial-na-saude-em-portugal-regulamentacao-impactos-e-perspetivas-de-futuro/>
- Susnjara, & Smalley. (2021, julho 8). *What Is Blockchain? | IBM*. <https://www.ibm.com/think/topics/blockchain>
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. <https://www.oreilly.com/library/view/blockchain/9781491920480/>
- Swierczewski, L. (2012). *The Distributed Computing Model Based on The Capabilities of The Internet* (No. arXiv:1210.1593). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1210.1593>
- Tagliafico, A. S., Campi, C., Bianca, B., Bortolotto, C., Buccicardi, D., Francesca, C., Prost, R., Rengo, M., & Faggioni, L. (2022). Blockchain in radiology research and clinical practice: Current trends and future directions. *La Radiologia Medica*, 127(4), 391–397. <https://doi.org/10.1007/s11547-022-01460-1>
- Tomihama, R. T., Wilkinson, M. C., & Kiang, S. C. (2025). Blockchain Technology: Overview and Applications in Radiology. *American Journal of Roentgenology*, 224(6), e2432446. <https://doi.org/10.2214/AJR.24.32446>
- Viola, R. (2019). Blockchain: A transformative technology for Europe. *Shaping Europe*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/european-blockchain-strategy-brochure>

Zarkorix. (2021, agosto 26). *Blockchain vs. DAG - an overview* [Reddit Post].

r/CryptoCurrency.

https://www.reddit.com/r/CryptoCurrency/comments/pbw024/blockchain_vs_dag_an_overview/

APÊNDICE A

Apêndice A

Resumo da literatura sobre impactos, vantagens e limitações da adoção da tecnologia blockchain na área da saúde

Estudo/Fonte	Impactos	Vantagens	Limitações
A Revolução da Blockchain na Indústria da Saúde (AbdelSalam, 2023)/ PMC ⁵⁸	Melhora a interoperabilidade, revoluciona a gestão tradicional de dados de saúde e apoia a gestão da saúde da população.	Melhora a interoperabilidade, a segurança e a transparência; permite a troca segura de dados; reduz a dependência de intermediários.	Estudos empíricos limitados, falta de compreensão entre os utilizadores, questões de segurança e governança, altos custos de mudança, barreiras do efeito de rede.
Aplicações da Blockchain na Área da Saúde (J et al., 2023) /ScienceDirect	Melhora o desempenho e a segurança da partilha de dados médicos, reduz erros nos processos médicos.	Preserva e troca dados de pacientes de forma segura, melhora a análise de registos médicos, aumenta a transparência e o desempenho.	Problemas de escalabilidade, custos elevados de implementação, requer conhecimentos técnicos especializados para a adoção.
Uso da Blockchain na Segurança das Prescrições Médicas e na Melhoria da Precisão Diagnóstica em Saúde Digital (Abdorrahimi et al., 2024)/ PMC	Aumenta a eficiência no compartilhamento de prescrição médica eletrónica, melhora a privacidade dos dados e o controle de acesso	Gestão segura de EMR (por exemplo, MedBlock, FHIRChain), suporta a privacidade dos dados e permite a partilha descentralizada dos dados.	Implementações limitadas no mundo real, estudos de baixa qualidade predominam, desafios de escalabilidade e interoperabilidade.
Oportunidades e Desafios da Tecnologia Blockchain na Saúde (Dinc & Ardic, 2024) /PMC	Aumento de segurança e integridade dos EHRs, de interoperabilidade, de eficiência (automação e <i>smart contracts</i>) e combate a contrafação medicamentosa	Aumento da transparência, rastreabilidade instantânea e segurança	Problemas de escalabilidade, de consumo de energia e ambientais, de regulamentação e de complexidade tecnológica requerida para adoção.
Uso da Blockchain na Área da Saúde: Revisão Sistemática (Elangovan et al., 2022)/ PMC	Promove a troca descentralizada de dados e apoia sistemas de saúde inteligentes.	Aumenta a transparência, a autenticação e a partilha segura de dados; reduz a dependência de terceiros.	Problemas de escalabilidade devido ao volume de dados, restrições de recursos, incerteza de desempenho e necessidades de conformidade regulamentar.
Benefícios e Ameaças da Blockchain na Saúde (Abu-elezz et al., 2020) /ScienceDirect	Melhora a interoperabilidade e a privacidade das informações de saúde dos pacientes, apoia a cadeia de abastecimento e os ensaios clínicos.	Aumenta a segurança, a autorização, os cuidados de saúde personalizados, o rastreamento de dados de saúde e a eficiência da cadeia de abastecimento farmacêutica.	Questões de segurança e autorização, desafios de interoperabilidade, falta de competências técnicas, preocupações com a aceitação social.
Blockchain em Ciências da Saúde (Hasselgren et al., 2020) /ScienceDirect	Aumenta a confiança e a disponibilidade nos cuidados de saúde inteligentes, suporta a IoT e a cadeia de abastecimento.	Garante a fiabilidade, a alta disponibilidade, a partilha segura de dados e a gestão eficiente da cadeia de abastecimento.	Desafios de implementação técnica, barreiras à adoção devido a sistemas legados, complexidades regulatórias.

⁵⁸ PMC é a abreviatura de PubMed Central

Integração da Blockchain na Área da Saúde (Kasyapa & Vanmathi, 2024) /PMC	Facilita a partilha segura de dados, melhora o processamento de faturação e reclamações.	transmissão de dados segura e interoperável (por exemplo, IBM, Medicalchain), reduz erros manuais, melhora o controle do paciente.	Riscos de segurança de dados fora da cadeia, problemas de escalabilidade, riscos de centralização com indexação fora da cadeia, desafios de integração de ML.
Adoção da Blockchain na área da saúde (Gaynor et al., 2020)/ PMC	Simplifica a troca de dados, a cadeia de abastecimento (por exemplo, transporte de órgãos) e os contratos inteligentes.	Melhora a eficiência, a transparência e a responsabilidade nas cadeias de abastecimento;	Complexidade da implementação, integração com os registos de saúde eletrónicos, resistência das partes interessadas, obstáculos regulamentares.
Blockchain para a COVID-19 e além: Revisão Sistemática (Ng et al., 2021)/ The Lancet	Adoção acelerada para controlo da pandemia, passaportes de vacinas e rastreamento de contactos.	Suporta gestão de EMR, integração de IoT, cadeia de abastecimento e gestão de consentimento; melhora a privacidade e a escalabilidade com IoT.	Implementação clínica limitada, tecnologia em fase inicial, barreiras à aceitação generalizada, alto consumo de energia para PoW.
Perspectiva matizada sobre a blockchain (Schinckus, 2022) ScienceDirect	Potencial para validar credenciais clínicas e apoiar ambientes de saúde digitais.	Inúmeras aplicações subestimadas, apoia a gestão descentralizada de dados, melhora a segurança.	Elevado consumo de energia (PoW), preocupações ambientais, questões de sustentabilidade, validação intensiva em recursos.