



Instituto Superior de Gestão

Tecnologia *Blockchain*

Vantagens da sua utilização na Indústria Marítima

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

Autor:

Fernando Marques Augusto

Orientador:

Professor Doutor Agostinho Manuel Antunes da Silva

Lisboa 2022

Resumo

Segundo o Relatório das Nações Unidas de 2020, o transporte marítimo representa mais de 80% do comércio global. Uma indústria marítima eficiente e sustentável, orientada para a sustentabilidade e relação custo-eficácia torna-se determinante no processo de globalização a que assistimos e para o qual, tecnologias emergentes, como a *Blockchain*, poderão desempenhar um papel decisivo.

Partindo de uma análise abrangente das tendências atuais e crescentes da utilização da tecnologia *Blockchain*, a presente dissertação teve como objetivo avaliar ganhos potenciais da sua utilização na indústria marítima. Utilizando uma abordagem metodológica hipotético-dedutiva, conclui-se que a tecnologia *Blockchain* apresenta viabilidade no rastreio da qualidade do combustível marítimo, resulta em ganhos resultantes no rastreio da carga embarcada, e agiliza os embarques eletrónicos - *e/BL*. Porém, pese embora registos distribuídos imutáveis e contratos inteligentes automatizados sejam apelativos em muitos casos apresentados na literatura, as preocupações de segurança em torno da ligação da *Blockchain* à *IoT* e outras aplicações, bem como a alta latência e o armazenamento deficiente, tendem a dificultar a aplicação da *Blockchain* aos Contratos de Embarque Inteligentes (*Smart Contracts*).

Pese embora as conclusões apontem para vantagens claras da utilização da *Blockchain* na indústria marítima, uma compreensão mais profunda das preocupações dos intervenientes e parceiros do setor marítimo será importante para que prossigam no contexto de cada caso de utilização da tecnologia *Blockchain*. Este é particularmente o caso se e quando quaisquer dados ou informações armazenadas na *Blockchain* forem utilizados no cumprimento ou aplicação da regulamentação.

Palavras-Chave: *Blockchain*; indústria marítima; *DLT*; *IoT*; Sustentabilidade; Benefícios; Desafios

Abstract

According to the United Nations 2020 Report, maritime transport represents more than 80% of global trade. An efficient and sustainable maritime industry, oriented towards sustainability and cost-effectiveness becomes determinant in the globalization process we are witnessing and for which, emerging technologies, such as Blockchain, may play a decisive role.

Starting from a comprehensive analysis of the current and growing trends in the use of Blockchain technology, this dissertation aimed to assess potential gains from its use in the Maritime Industry. Using a hypothetical-deductive methodological approach, it is concluded that Blockchain technology presents viability in tracking the quality of marine fuel, results in gains resulting in the tracking of cargo shipped, and streamlines electronic shipments - e/BL. However, while immutable distributed registries and automated smart contracts are appealing in many cases presented in the literature, security concerns around connecting Blockchain to IoT and other applications, as well as high latency and poor storage, tend to hinder the application of Blockchain to Smart Contracts.

Whilst the findings point to clear advantages of using Blockchain in the Maritime Industry, a deeper understanding of the concerns of maritime industry stakeholders and partners will be important for them to pursue in the context of each use case of Blockchain technology. This is particularly the case when any data or information stored on Blockchain is used in regulatory compliance or enforcement.

Keywords: Blockchain; Maritime Industry; DLT; IoT

AGRADECIMENTOS

Nunca é tarde, às vezes é apenas cedo demais!

Por isso, agradeço ao meu colega e amigo Professor Doutor Rui Moreira de Carvalho, que me desencaminhou para esta viagem, ao meu orientador e amigo Professor Doutor Agostinho da Silva que me ajudou na elaboração desta dissertação, a todos os meus colegas deste mestrado que me ajudaram a voltar aos anos oitenta e a todos aqueles que aqui não estão nomeados, mas que de maneira nenhuma serão esquecidos.

DEDICATÓRIA

MAR PORTUGUÊS

Ó mar salgado, quanto do teu sal
São lágrimas de Portugal!
Por te cruzarmos, quantas mães choraram,
Quantos filhos em vão rezaram!
Quantas noivas ficaram por casar
Para que fosses nosso, ó mar!

Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.

Fernando Pessoa

À Família Bugarvília que ilumina a minha vida e em particular ao Francisco e à Alexandra fontes inesgotáveis de inspiração.

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

ABS	<i>American Bureau of Shipping</i>
ADEPT	<i>Autonomous Decentralized Peer-To-Peer Telemetry</i>
AI	<i>Artificial Intelligence</i> (Inteligência artificial)
AIS	<i>Automatic Identification System</i> (Sistema Automático de Identificação)
ARPA	<i>Automatic Radar Plotting Aid</i>
B/L	Conhecimento de Embarque;
eB/L	Conhecimento de Embarque Eletrónico
BIMCO	<i>Baltic and International Maritime Council</i>
BLOC	<i>Blockchain Labs for Open Collaboration</i>
CINS	Sistema de Notificação de Incidentes com Carga
CO ₂	<i>Carbon dioxide, a greenhouse gas</i>
COLREG	<i>Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea</i>
DCS	<i>Data collection system for fuel oil consumption of ships</i>
DLT	<i>Distributed Ledger Technology</i> (Tecnologia do Livro-Razão Distribuído)
DoS	<i>Denial of Service, a type of cyberattack;</i>
DCSA	<i>Digital Container Shipping Association</i>
DDoS	<i>Distributed denial of service</i>
DWT	<i>Deadweight tonnage</i> (Tonelagem de porte bruto)
EC	<i>European Commission</i>
ECDIS	<i>Electronic Chart Display and Information System</i>
EDI	Intercâmbio eletrónico de dados
EEA	<i>European Environment Agency</i> (Agência Europeia do Ambiente)
EEDI	<i>Energy Efficiency Design Index</i>
ePoD	<i>electronic Proof of Deliver</i>
EU	União Europeia
EWf	<i>Energy Web Foundation</i>
GB	<i>Gigabyte</i>

RGPD	Regulamento Geral de Proteção de Dados
GEE	Gases com efeito de estufa
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
GMDSS	Sistema Global de Socorro e Segurança Marítima
GNL	Gás Natural Liquefeito
GPS	Sistema Global de Posicionamento
GSBN	<i>Global Shipping Business Network</i>
IBM	<i>International Business Machines Corporation</i>
ICO	<i>Initial Coin Offering</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
IMO	<i>International Maritime Organization</i> (Organização Marítima Internacional)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas)
ISM	<i>International Safety Management</i>
ISO	<i>International Organization for Standards</i>
ISPS	Código Internacional de Segurança de Navios e Instalações Portuárias, 2002
kWh	Kilowatt-hora – uma medida do consumo de energia
MARPOL	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios
MBL	<i>Marine Blockchain Labs</i>
MEPC	<i>Marine Environment Protection Committee</i> (Comité de Proteção do Ambiente Marinho)
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
MRV	<i>Shipping Emissions Monitoring Verification and Reporting</i> , da BLOC
ONU	Organização das Nações Unidas
PoE	<i>Power-over-Ethernet</i>
PoA	<i>Proof of Authority</i> - Um algoritmo de validação da <i>Blockchain</i>
PoE	<i>Power-over-Ethernet</i>
PoD	<i>Proof of Deliver</i>
PoS	<i>Proof of Stake</i> - Um algoritmo de validação da <i>Blockchain</i>

PoW	<i>Proof of Work</i> - Um algoritmo de validação da <i>Blockchain</i>
PSC	<i>Port State Control</i>
PSF	<i>Prime Shipping Foundation</i>
ROI	<i>Return of investment</i>
SEEMP	Planos de Gestão da Eficiência Energética de Navios
SMS	Sistema de Gestão da Segurança
SVN	<i>Supply Value Network</i>
SOLAS	Convenção sobre a Segurança da Vida Humana no Mar
STCW	Convenção Internacional sobre Normas de Formação, de Certificação e de Serviços de Quartos para os Marítimos
TB	<i>Terabyte</i>
TEU	<i>Twenty-foot equivalent unit</i> (Unidade Equivalente a Vinte Pés)
TI	Tecnologias de Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UNCTAD	Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento
TWh	<i>Terawatt-hora</i> – uma medida do consumo de energia
VGM	<i>Verified-Gross-Mass</i> (VGM), Regulamento IMO parte do tratado SOLAS
WSN	<i>Wireless sensor networks</i>
WEB	Rede; sistema hipertextual que opera através da internet

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	Pertinência do estudo	2
1.3	Organização da Dissertação	4
2	Problemática	6
2.1	Particularidades da Indústria marítima	12
2.2	Análise SWOT	16
2.3	Problema de Investigação E Objetivos	19
3	Revisão da Literatura	20
3.1	Sistemas centralizados	20
3.2	Sistemas descentralizados.....	21
3.3	Sistemas distribuídos	22
3.4	<i>Distributed ledger technology</i>	23
3.5	<i>Blockchain</i> , DAG e Tempo.....	26
3.6	<i>Smart Contracts</i>	31
3.7	Características adicionais da <i>Blockchain</i>	33
3.8	Integração <i>Blockchain</i> – IoT	35
3.9	<i>CLOUD COMPUTING, FOG COMPUTING AND EDGE COMPUTING</i>	40
3.10	Aplicação da <i>Blockchain</i> na indústria marítima	42
4	Metodologia de investigação	48
4.1	Hipótese 1 Rastreio da qualidade do combustível	49
4.1.1	Primeira Questão de Investigação e Formulação da Hipótese 1.....	50
4.1.2	Teste à Hipótese 1	50
4.2	Hipótese 2 Rastreio da Carga Embarcada.....	55

4.2.1	Segunda Questão de Investigação e Formulação da Hipótese 2.....	55
4.2.2	Teste à Hipótese 2.....	56
4.3	Hipótese 3 Conhecimento de embarque eletrónico - e/BL	65
4.3.1	Terceira Questão de Investigação e Formulação da Hipótese 3	66
4.3.2	Teste à Hipótese 3.....	67
4.4	Hipótese 4 Contratos inteligentes (<i>Smart Contracts</i>)	70
4.4.1	Quarta Questão de Investigação e Formulação da Hipótese.....	71
4.4.2	Teste à Hipótese 4.....	71
5	Confirmação ou Rejeição das Hipóteses	76
5.1	Confirmação ou rejeição da Hipótese 1	76
5.2	Confirmação ou rejeição da Hipótese 2	76
5.3	Confirmação ou rejeição da Hipótese 3.....	77
5.4	Confirmação ou rejeição da Hipótese 4.....	77
6	Síntese da análise dos resultados	78
7	Conclusões	83
	Bibliografia	88
	Apêndice A	108

Lista de Figuras

Figura 1 – Principais rotas de navegação marítima e passagens estratégicas	8
Figura 2 – SVN (rede de valor das partes interessadas) da indústria marítima)	14
Figura 3 – Estrutura de sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos (Atlam & Wills, 2019).....	23
Figura 4 – Desafios da DLT (Atlam, Alenezi, Alassafi, & Wills, 2018)	25
Figura 5 – Tecnologias DLT e aplicações comuns de cada tecnologia (Benos, Garratt, & Gurrola-Perez, 2017)	26
Figura 6 – Princípio da tecnologia da Blockchain.....	28
Figura 7 – Transações na Estrutura da DAG	29
Figura 8 – Distributed Ledger Technology (DLT)	30
Figura 9 – Arquitetura centralizada do sistema IoT e o sistema IoT descentralizado após a integração com a Blockchain.....	37
Figura 10 – Cloud Computing, Fog Computing and Edge Computing.....	40
Figura 11 – Etapas do método dedutivo	48
Figura 12 – Fluxo de informação atual no processo de importação	59
Figura 13 – Fluxo de informação na Blockchain no processo de importação.....	60
Figura 14 – Solução Maersk e IBM Blockchain para a digitalização do comércio global (IBM-Blockchain, 2018).....	63
Figura 15 – Comparação entre a solução em papel e a solução digital CargoX	68

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Tipo de navios – DWT vs. Valor	9
Gráfico 2 – International maritime trade in cargo ton-miles, 2000–2020	11
Gráfico 3 – Emissões globais de gases com efeito de estufa pelo setor dos transportes	16

Lista de Quadros

Quadro 1 – Análise SWOT - Indústria Marítima	18
Quadro 2 – Comparação entre sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos	23
Quadro 3 – Comparação das três tecnologias principais da DLT	31
Quadro 4 – Comparação da Blockchain com e sem permissão	33
Quadro 5 – DLT: Tecnologia de livro-razão distribuído; Proof of Work; PoS: Proof of Stake	34
Quadro 6 – Comparação IoT e Blockchain	36
Quadro 7 – As principais aplicações atuais do Blockchain no transporte marítimo	39
Quadro 8 – As características técnicas da Blockchain e a sua relevância para a indústria marítima (Xu, et al., 2016); (Berke, 2017); (Xu, et al., 2017)	42
Quadro 9 – Exemplos de casos típicos de utilização da Blockchain na indústria marítima (Lam & Zhang, 2019)	43
Quadro 10 - Desafios da aplicação Blockchain para os intervenientes da Indústria Marítima	82

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Com o desenvolvimento do comércio internacional e a globalização económica, as cadeias logísticas tornaram-se cada vez mais importante na competitividade das organizações (Hackius & Petersen, 2020). Enquanto possibilitador da logística da cadeia de abastecimento, o transporte marítimo é um elemento fulcral do comércio mundial e da globalização. Com efeito, o transporte marítimo é um pilar no crescimento económico ao transportar grande parte dos bens transacionáveis, cumprindo uma função crítica na globalização. De acordo com a UNCTAD (Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento) na sua publicação anual de 2021 da *Review of Maritime Transport*, 90% dos mais de 16 triliões de dólares de mercadorias transportados através de fronteiras nacionais são movimentados por via marítima.

Pese embora a sua importância, a indústria marítima continua a enfrentar problemas e desafios que restringem o seu desenvolvimento, proteção ambiental, as melhorias na relação custo-benefício e a concretização de transportes de mercadoria mais eficientes e seguros em todo o mundo exigem padrões de serviço continuamente elevados (Shin, et al., 2018). Sobre estes desafios pesam a dependência num grande número de recursos humanos em termos de gestão, o custo da reorganização dos processos empresariais e a dificuldade na verificação das responsabilidades empresariais globais (Walker, et al., 2019).

As fraquezas na cadeia de abastecimento marítimo são principalmente resultado de questões de confiança na comunicação entre computadores, questões de rastreabilidade do produto, otimização do processo e conhecimentos de embarque sem papel. Face a estes problemas, as empresas marítimas globais esforçam-se por encontrar procedimentos de operação técnica mais eficientes.

Recentemente, foram feitos progressos significativos na procura de soluções inovadoras na resolução destas questões. O recurso à digitalização dos processos do transporte marítimo tem sido preponderante neste processo com a introdução de técnicas e tecnologias disruptivas como o *Blockchain*, *Big Data*, *Internet of Things* (IoT) entre outras.

No caso particular da tecnologia *Blockchain*, a sua utilização tem sido elemento central na inovação recente na cadeia de valor das empresas marítimas. O seu valor reside na capacidade de processamento de um volume de informação e transações das empresas marítimas mais

ordenada, segura e estável (Yang, 2019). As características da tecnologia *Blockchain* tornam-na também aplicável às particularidades do setor marítimo portuário.

Exemplos deste tipo de aplicações sucedem-se num período recente. Em março de 2017, a gigante marítima MAERSK, a maior empresa de transporte marítimo do mundo, cuja linha opera mais de 700 navios e tem uma capacidade total de cerca de 4,1 milhões de TEU, anunciou a conclusão do primeiro ensaio do projeto da *Blockchain* e utilizou com sucesso esta tecnologia para rastrear o transporte de carga¹. Em agosto do mesmo ano, 14 empresas marítimas japonesas, anunciaram uma aliança para estabelecer em conjunto uma plataforma de partilha de dados comerciais baseada na tecnologia *Blockchain* para formar uma rede com o objetivo de promover a inovação da gestão da indústria marítima². Em abril de 2019, a DCSA (*Digital Container Shipping Association*) foi criada conjuntamente pelas quatro maiores companhias de transporte marítimo de contentores do mundo: MAERSK, MSC, HAPAG-LLOYD e ONE.

A aplicação de novas tecnologias permitiu também que a IMO (*International Maritime Organization*), responsável pela regulamentação do transporte, construir medidas com o objetivo de reduzir os riscos ambientais e garantir a segurança marítima, o respeito pelo ambiente e a sustentabilidade (Di Vaio & Varriale, 2018) e (Manupati, et al., 2020). Para além da IMO, alguns países costeiros também implementaram as suas próprias regras para aumentar a transparência, a eficácia e a monitorização dos dados que afetam a poluição do ar e da água através da tecnologia *Blockchain* (Bai & Sarkis, 2020).

1.2 PERTINÊNCIA DO ESTUDO

A tecnologia *Blockchain* é definida como "uma base de dados distribuída de registos ou livro-razão público de todas as transações ou eventos digitais que tenham sido executados e partilhados entre as partes participantes, isto é, um livro-razão partilhado e imutável para registar transações, rastrear bens e construir confiança³.

Esta tecnologia foi inicialmente utilizada para facilitar as transações de cripto-moedas, com a aplicação à *Bitcoin* (Nakamoto, 2008). A *Bitcoin*, sendo um sistema bancário eletrónico *peer-to-peer*, permite que duas partes efetuem pagamentos diretamente, excluindo a necessidade de um terceiro ou intermediário de confiança, nas transações financeiras. A *Bitcoin* foi umas

¹ <https://supplychaindigital.com> (acedido em 14/02/2022)

² <https://www.marineinsight.com> (acedido em 15/02/2022)

³ https://www.ibm.com/topics/what-is-blockchain?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=blockchain (acedido em 15/02/2022)

primeiras cripto-moedas sendo essencialmente uma cadeia que liga várias assinaturas digitais, validadas por um servidor de registo data/hora (Nakamoto, 2008). Por sua vez a tecnologia *Blockchain*, embora tenha sido criada em conjunto com a *Bitcoin*, evoluiu de forma independente, sendo hoje aplicada em múltiplas utilizações e empresas, pelo que o conceito não deve ser confundido com o conceito de *Bitcoin*. Muitas vezes descrita como uma tecnologia disruptiva, a utilização da *Blockchain* é de aplicação geral a qualquer transação entre duas partes independentes (McPhee & Ljusic, 2017), permitindo que as empresas façam transações diretamente entre si. O recurso a esta tecnologia aumentou de forma significativa a partir de 2018, encontrando-se aplicações no setor financeiro, energético ou imobiliário⁴.

As principais vantagens apontadas a este sistema são a sua segurança, transparência e a relação custo-eficácia (Gilliland & Ivanova, 2017). Também a possibilidade de execução automática de condições previstas nos contratos tem sido apontada como uma vantagem decorrente da utilização desta tecnologia (Crosby, Pattanayak, Verma, Kalyanaraman, & others, 2016).

A aplicação da *Blockchain* à cadeia de valor da indústria marítima poderá ser disruptiva na resolução de vários problemas associados a esta atividade, permitindo uma inovação de processos pouco comum a este ramo de atividade.

Esta interpretação toma como ponto de partida que a indústria marítima é modelada como um sistema de sistemas que inclui uma sucessão de operações de carga/descarga, abastecimento de combustível, navegação, regulamentos, construção, manutenção e coordenação com a cadeia de abastecimento global.

A tecnologia *Blockchain* ao ser concebida para alcançar a descentralização, a operação entre pares em tempo real, o anonimato, a transparência, a irreversibilidade e a integridade de uma forma versátil, afeta positivamente muitas das operações da indústria marítima.

Contudo, e apesar da intensa literatura sobre a aplicação da *Blockchain* a diferentes indústrias e áreas de negócio, a investigação sobre a aplicação desta tecnologia no setor marítimo é ainda limitada.

Identificando aplicações recentes de *Blockchain* na indústria marítima, com o presente trabalho enumeramos os potenciais benefícios desta tecnologia na solução dos problemas e desafios à

⁴ <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/financial-services/us-fsi-2018-global-blockchain-survey-report.pdf> (acedido em 25/04/2022)

cadeia de valor da indústria marítima e, por sua vez, as principais limitações na sua introdução e desenvolvimento nesta importante atividade económica.

É de salientar que a indústria marítima, embora seja um sector conservador, adotou com sucesso novas tecnologias no passado (Jugović, Bukša, Dragoslavić, & Sopta, 2019) com o primeiro navio oceânico totalmente automatizado previsto para entrar em funcionamento até 2030. Os navios de alta tecnologia estão equipados com sistemas modernos que utilizam a Internet das Coisas, uma tecnologia que pode ser utilizada em conjunto com a *Blockchain* para armazenar e divulgar dados (Green, Carr, Winebrake, & Corbett, 2020). Além disso, considerando que atualmente as operações de transporte marítimo não incluem frequentemente elementos inovadores, a indústria marítima é terreno fértil para a aplicação de sistemas de tecnologia digital, por exemplo, navios inteligentes, frotas, e logística global (Jović, Filipović, Tijan, & Jardaš, 2019), bem como a aplicação transformadora da tecnologia *Blockchain* (Jugović et al. 2019). Face às aplicações atuais da tecnologia *Blockchain* consideramos pertinente examinar como esta tecnologia está a facilitar a tomada de decisões na indústria marítima e tornar as operações desta indústria menos complexas, mais eficientes e eficazes e ao mesmo tempo como podem contribuir com a sua criatividade e inovação na aplicação de métodos sustentáveis.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada em sete Capítulos. No primeiro Capítulo, contextualizamos a situação atual da aplicação da *Blockchain* na indústria marítima, a pertinência do estudo e a relevância que esta tecnologia representa para esta indústria. No Capítulo dois, apresentamos a problemática e as particularidades da indústria marítima. Elaborámos uma análise SWOT desta indústria, tendo em conta o enquadramento atual com as novas tecnologias e, na sequência desta análise, resultou a questão da investigação desta dissertação.

No Capítulo três, comparamos os sistemas Centralizados, Descentralizados e Distribuídos e apresentamos a Tecnologia do Livro de Razão Distribuídos para introdução aos diferentes tipos de *DLT*, dos quais a *Blockchain* é desenvolvida em mais pormenor, pela importância que tem neste estudo. Descrevemos os Contratos Inteligentes e a integração da *Blockchain* com a *IoT*. Com base nestes conceitos chave apresentamos literatura com referência a aplicações *Blockchain* à indústria marítima, ao transporte marítimo e à cadeia de abastecimento marítima.

No capítulo quatro apresentamos a metodologia da investigação, o modelo conceptual e as hipóteses. São desenvolvidas quatro hipóteses seleccionadas de implementação da tecnologia *Blockchain* na indústria marítima, com a identificação do problema, obstáculos à realização dos objetivos, o papel da *Blockchain* na sua resolução e as iniciativas existentes para cada uma das hipóteses.

No capítulo cinco são discutidos os resultados (confirmação ou rejeição das hipóteses) da aplicação da tecnologia *Blockchain* na Indústria Marítima nos quatro casos de estudo, detalhando-se os benefícios, as preocupações e os desafios e associados à aplicação desta tecnologia no setor. No capítulo seis e na sequência dos resultados obtidos nesta investigação, sintetizamos os desafios e preocupações mais significativos na aplicação da *Blockchain* à indústria marítima. O capítulo seis conclui o estudo, incluindo a apresentação das limitações e propostas para futuras investigações

2 PROBLEMÁTICA

A indústria marítima é uma indústria global e desempenha um papel crucial nas sociedades modernas. É difícil quantificar o valor total da indústria marítima mundial derivado do seu impacto em múltiplas cadeias de produção e na interdependência entre sistemas de produção e consumo que, em última instância, esta indústria permite. Em 2019, o valor total do comércio marítimo mundial anual tinha atingido mais de 14 biliões de dólares americanos, correspondentes a 11 mil milhões de toneladas transportadas. Prevê-se um aumento de 50% para até ao ano de 2030.⁵

A indústria marítima é composta por diversas organizações e atividades, tais como: o transporte marítimo, a indústria naval (empresas de engenharia naval, construção naval e o setor de fornecimento de componentes), a pesca comercial e a indústria aquícola, o setor de cruzeiros e lazer, portos desportivos e comerciais e marinas, fontes de energia marinha, marinha, investigação e ciências marinhas e oceânicas, academias e centros de formação marítima, serviços profissionais de apoio às atividades marítimas, associações profissionais, sindicatos e organizações que apoiam os direitos e interesses dos marítimos e dos profissionais do mar.

Este setor global, apoiado no século XX pelas economias da América do Norte e da Europa Ocidental, mostrou um forte crescimento nas últimas quatro décadas, apesar da recessão económica mundial do início dos anos 80 e das crises financeiras do final dos anos 90 e 2008.

Totalizando mais de oito biliões de toneladas-milha em 1968, passou para mais de 62 biliões de toneladas-milha em 2019 (Gráfico 1). A indústria marítima é de enorme importância em termos de recursos naturais e energia, comércio e indústria, ciências e atividades de lazer.

A estabilidade económica e o crescimento daí derivado exigem a esta indústria soluções inovadoras e sistemas de gestão articulados para assegurar uma operação contínua, bem como a implementação de regulamentos e instrumentos nacionais e internacionais mais exigentes e em constante mudança. De acordo com a IMO “o transporte marítimo é uma componente essencial de qualquer programa de desenvolvimento sustentável, porque o mundo depende de uma indústria marítima internacional segura e eficiente”⁶.

⁵ <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/>(acedido 25/04/2022)

⁶ IMO, Maritime Transport Policy, 2015

A navegação marítima tem sido durante muito tempo a principal forma de transporte, bem como um elo de comunicação essencial que liga cidades costeiras, países e continentes. A par do transporte ferroviário, o transporte marítimo é económica e ambientalmente a forma mais eficiente de viajar ou transportar mercadorias (AEA- Agência Europeia do Ambiente)⁷. Atualmente, mais de 90% do comércio mundial é transportado pela indústria marítima internacional (UNCTAD, 2021)⁸. A geografia sobre a qual o transporte marítimo opera é única, com a sua combinação de imperativos físicos, estratégicos e comerciais. As questões físicas são mais estáveis ao longo do tempo, mas as considerações estratégicas, e especialmente comerciais, mudam continuamente. Embora os oceanos representem 71% da superfície terrestre, o transporte marítimo só ocorre, na sua maioria, ao longo de rotas específicas que são regularmente utilizadas em itinerários marítimos. A fisiografia do transporte marítimo é composta por sistemas de circulação oceânica e fluvial, que são bem definidos por critérios tais como profundidade, correntes marítimas, ventos, recifes, gelo, configuração das linhas costeiras, passagens congestionadas (*Chokepoints*) e fronteiras políticas.

A configuração da rede marítima global é surpreendentemente simples e está organizada ao longo de um corredor circum-equatorial que liga a América do Norte, Europa e Ásia do Pacífico através do Canal de Suez, o Estreito de Malaca e o Canal do Panamá (Figura 1). É feita uma utilização limitada das partes mais a norte do Atlântico, bem como das partes mais a sul dos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico, devido às condições perigosas de navegação e ao seu afastamento dos centros de atividade económica. Durante a época das monções de Verão no hemisfério norte (abril a outubro), a navegação pode tornar-se mais perigosa no Oceano Índico e no Mar do Sul da China.

As restrições físicas desempenham um papel importante na estrutura e organização do transporte marítimo. Tais restrições foram parcialmente mitigadas pela construção de canais transoceânicos, particularmente os canais do Panamá e do Suez.

As alterações climáticas podem também proporcionar transporte marítimo com rotas mais curtas através do Ártico, tal como foi tentado em 2010 pelo navio MV “Nordic Barents” na

⁷ <https://www.eea.europa.eu/> (Acedido em 14/11/2021)

⁸ <https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2021> (acedido em 7/5/2022)

altura pertencente à companhia dinamarquesa *Danskib 80* mas tais perspectivas permanecem limitadas neste ponto⁹.

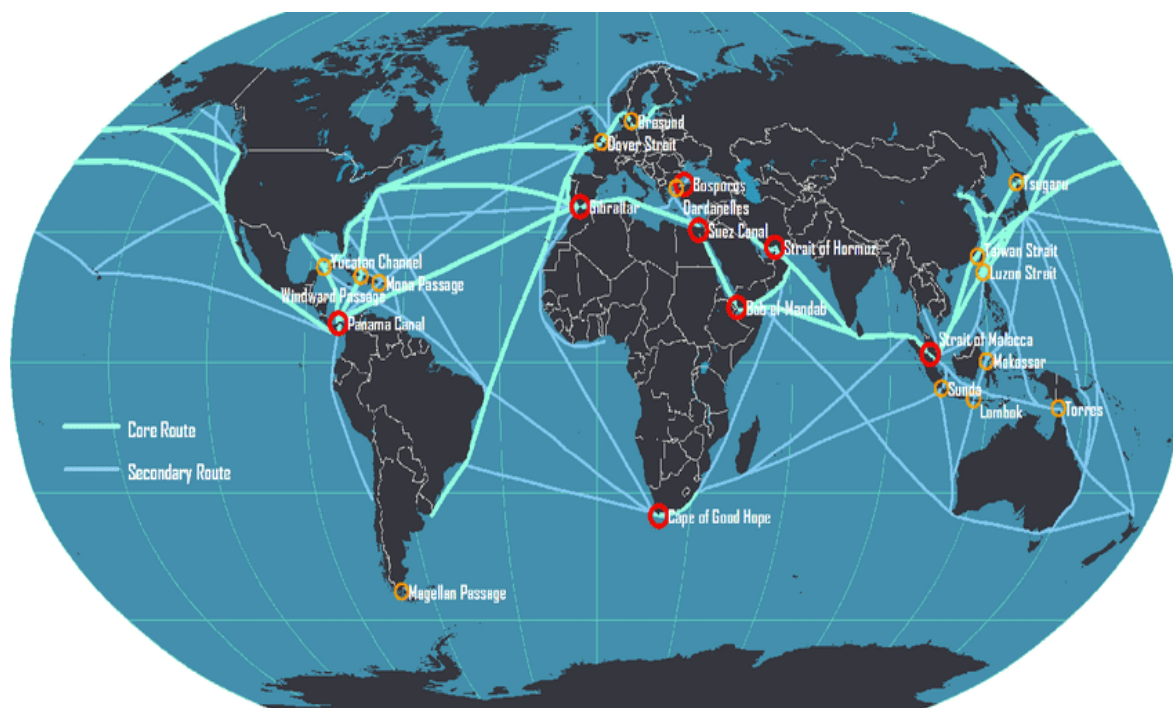


Figura 1 – Principais rotas de navegação marítima e passagens estratégicas¹⁰

Embora a adequação do transporte marítimo a transportes de contentores (*contentorização*) tenha sido um importante motor de mudança na indústria marítima, as cargas a granel como o petróleo, minerais e cereais são fundamentais visto que a procura irá continuar ao longo do tempo, apoiando grandes setores industriais. Paralelamente ao extraordinário aumento das atividades tradicionais relacionadas com o mar, o setor marítimo conheceu uma expansão qualitativa e quantitativa significativa com o aparecimento e desenvolvimento de dois novos polos de crescimento industrial: a indústria de exploração e produção de petróleo *offshore* e o setor dos cruzeiros.

O enorme crescimento da população mundial e o subsequente aumento das necessidades energéticas, tanto nos países em desenvolvimento como nos desenvolvidos, exigiram um aumento da exploração e produção offshore de hidrocarbonetos. Por outro lado, a indústria de

⁹ <https://gcaptain.com/nordic-barents-northern-route/> (acedido em 27/04/2022)

¹⁰ https://www.researchgate.net/figure/Major-maritime-shipping-routes-and-strategic-passages_fig1_315398501/(Acedido 25/4/2022)

cruzeiros tem experimentado um processo crescente de popularização em todo o mundo, atingindo um nível de enorme significado na economia global.

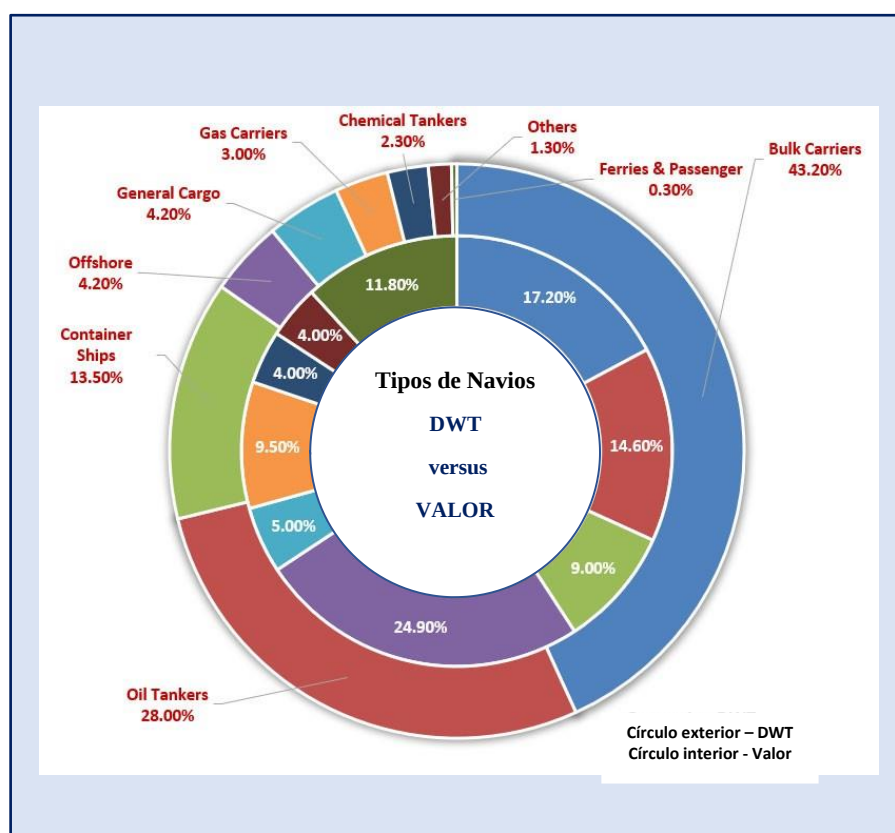


Gráfico 1 – Tipo de navios – DWT vs. Valor¹¹

Cerca de 55.000 navios mercantes de diversos tamanhos e especializações de carga (Gráfico 2), estavam registados em 2020 em mais de 150 nações e tripulados por mais de um milhão de marinheiros de quase todas as nacionalidades, transportam todo o tipo de carga a nível internacional. Vários milhares de sondas petrolíferas e navios de apoio e abastecimento *offshore* estão globalmente envolvidos na exploração e perfuração de petróleo e gás.

O transporte marítimo é uma indústria internacional, particularmente em termos de propriedade e de bandeira dos navios (pavilhão). A distinção entre propriedade e pavilhão é importante: as empresas dos países desenvolvidos continuam a ser os principais proprietários dos ativos dos navios, mas o pavilhão dos navios pode envolver diferentes países. De acordo com a *safety4sea*¹², embora ainda existam muitos navios registados em registos nacionais, o

¹¹ Fonte: (<https://aone-maritime.com/vessel-sizes/>); acedido 25/4/2022

¹² <https://safety4sea.com/tag/flag-of-convenience/> (acedido em 25/4/2022)

crescimento do uso de "bandeiras de conveniência" tem sido significativo. Um pavilhão de conveniência permite a um proprietário pagar taxas de registo mais baixas, custos operacionais mais baixos e estar sujeito a menos restrições regulamentares. O transporte marítimo é uma indústria altamente desregulamentada, com navios de registo aberto a operar sob proteção fiscal em Estados como o Panamá e a Libéria. A partir de 2011, 68% da tonelagem global do transporte marítimo foi registada sob um pavilhão de conveniência, contra 55% em 1995¹³

A modernização dos navios a partir dos anos 90 tornou o transporte marítimo mais eficiente e com menores riscos. Os mais recentes navios de tecnologia de ponta contribuíram para a diminuição das limitações de distância e tempo. Os avanços na tecnologia de navegação, tais como os navios Ro-Ro, navios de Contentores e navios Refrigerados, resultaram num alargamento do âmbito de atividade do transporte marítimo.

Assim, os fatores comerciais, dos quais se destacam a procura de energia, alimentos, matérias-primas, peças e produtos acabados, impulsionam o dinamismo do transporte marítimo. O destino da globalização e do transporte marítimo permanece estreitamente interligado: o transporte marítimo apoia os fluxos comerciais e um transporte mais eficiente é propício à melhoria do comércio.

Nas últimas décadas a tendência nas operações das empresas no transporte marítimo avançou para o conceito de economias de escala, para o desenvolvimento da gestão baseada em rede e para a adoção de tecnologia com o objetivo de melhorar a eficiência, a eficácia e a sustentabilidade (UNCTAD 2020). As várias interpretações do transporte marítimo implicam maior dinamismo e complexificação da cadeia de valor desta indústria.

¹³ <https://hbs.unctad.org/merchant-fleet/> (acedido em 25/4/2022)

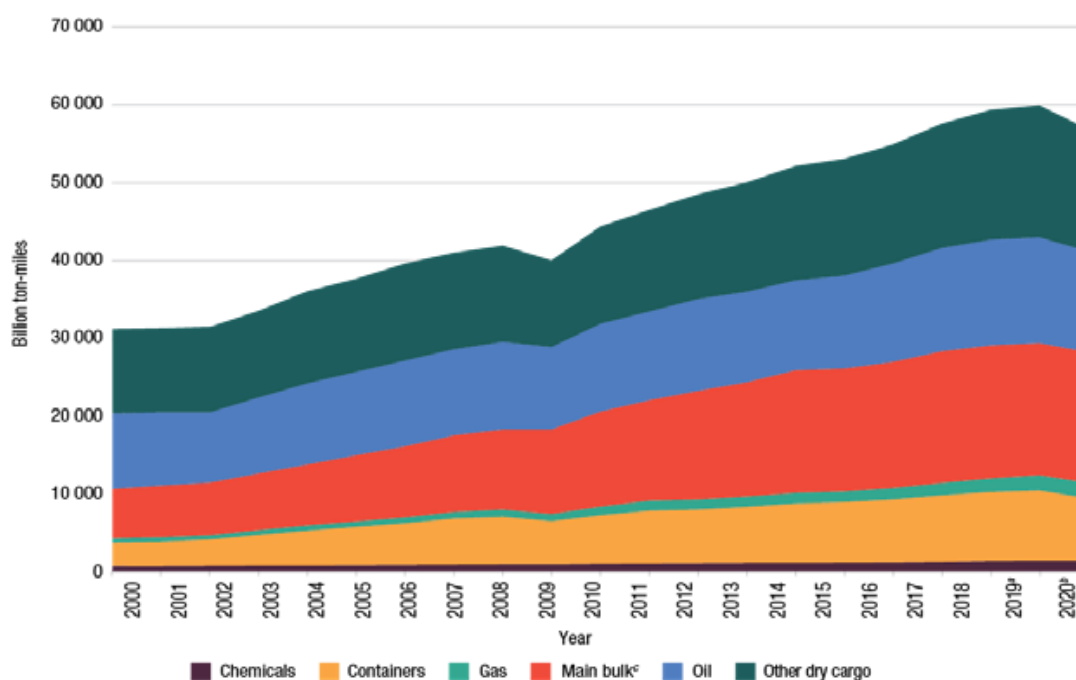


Gráfico 2 – International maritime trade in cargo ton-miles, 2000–2020¹⁴

Com efeito, o contexto socioeconómico das operações da indústria marítima mudou drasticamente a partir de 2008¹⁵. A globalização e o desenvolvimento de centros de fabrico de baixo custo em geografias muito distantes dos locais de consumo, o envelhecimento e diminuição da mão-de-obra nos mais industrializados, o custo crescente da legislação ambiental, o aumento do terrorismo global, os crimes transnacionais (*e.g.*, tráfico humano/droga e contrabando), a utilização ilegal do mar (caça furtiva e crimes conexos) juntamente com o custo das medidas de segurança para combater tais fenómenos e a crescente procura global de energia e alimentos são fatores chave nas transformações a ocorrer na indústria marítima.

A introdução de novas tecnologias pode responder questões complexas e diversas nesta indústria, tais como: (i) aumento da produção e transporte de combustíveis limpos; (ii) aumento do transporte de mercadorias, energia, matérias-primas, alimentos e água; (iii) renovação das infraestruturas portuárias e investimento significativo em novas instalações portuárias ou extensões das atuais; (iv) abastecimento de combustíveis alternativos; (v) robustecimento dos navios, portos e estruturas *offshore* para condições climáticas severas; (vi) automatização dos

¹⁴ Fonte: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020ch1_en.pdf. (acedido 25/4/2022)

¹⁵ <https://worldoceanreview.com/en/wor-1/transport/global-shipping/> (acedido em 25/04/2022)

sistemas e funcionamento autónomo; (vii) promoção de conectividade segura contra ciberataques; (viii) introdução de normativos mais rigorosos de segurança e proteção; (ix) utilização de dados eletrónicos em substituição da documentação legal em papel; (x) digitalização conducente a questões de acesso aos dados; (xi) aumento do tráfego de *ferries*, navios de cruzeiro e embarcações de lazer¹⁶.

2.1 PARTICULARIDADES DA INDÚSTRIA MARÍTIMA

A indústria marítima é um sistema complexo que pode ser dividido em quatro subsistemas principais: o mercado de frete, o mercado de navios de segunda mão, a indústria de construção naval e a indústria de demolição. Nem sempre as influências que essas quatro partes do mercado exercem umas sobre as outras é bem compreendida. Embora a indústria marítima seja influenciada pela economia global, observamos que seu comportamento é fortemente influenciado por fatores endógenos, tais como: sua própria estrutura; as relações organizacionais; e as decisões gerenciais que ocorrem nas várias partes dessa indústria. Adicionalmente, pode ser observado que tais relações têm características essencialmente dinâmicas.

O transporte marítimo pode ser definido como o transporte físico de cargas de uma área da oferta para uma área da procura, juntamente com as atividades necessárias para apoiar e facilitar esse transporte¹⁰.

Os principais intervenientes para a contratação de navios incluem os exportadores e importadores de bens, expedidores e consignatários. Os serviços de transporte marítimo envolvem uma série de atividades comerciais, incluindo a disponibilização de infraestruturas, o funcionamento de veículos e a gestão de sistemas organizacionais tais como o planeamento de recursos empresariais, e todo um sistema de informação que integra todas as operações e aplicações relacionadas com atividade do setor. Do negócio do transporte marítimo fazem parte uma série de atores que concretizam o transporte de cargas por mar. Estes atores incluem:

Armadores: Partes que possuem navios e tomam decisões sobre como utilizar os navios existentes para prestar serviços de transporte marítimo, quando e como comprar novos navios, e que tipos de navios comprar;

¹⁶ <https://transportgeography.org/> (Acedido 27/04/2022)

Operadores de terminais: Partes que prestam serviços portuários a navios, tais como atracação e movimentação de carga;

Agentes de navios: Empresas que representam os proprietários dos navios, e que estão envolvidas nos negócios de rotina relacionados com a chegada, operação e partida de navios;

Fretadores: Entidades que empregam navios para o transporte de cargas;

Corretores de navios (*Brokers*): Intermediários especializados entre armadores e afretadores de navios, ou entre compradores e vendedores de navios;

Operadores de transporte intermodal: Partes que prestam serviços de transporte intermodal para o movimento porta-a-porta de cargas;

Construtores navais: Partes que constroem novos navios e os vendem aos armadores;

Comerciantes de sucata: Partes que compram navios velhos aos armadores para demolição;

Sociedades Classificadoras: organismos reconhecidos para atuarem em nome da Autoridade Marítima na regulação, controle e certificação de embarcações nos aspetos relativos à segurança da navegação, salvaguarda da vida humana e prevenção da poluição ambiental.

Para além dos mencionados anteriormente, temos igualmente as organizações internacionais relacionadas com a legislação marítima, como por exemplo a IMO e as entidades oficiais nacionais que regulam a entrada de mercadorias e pessoas em cada país.

Como qualquer atividade de transporte, o transporte marítimo é uma procura derivada que apoia as relações comerciais, sendo parte integrante da cadeia de abastecimento global. Estas relações comerciais são também influenciadas pela capacidade de transporte marítimo existente. Existe assim um nível de reciprocidade entre o comércio e a navegação marítima, uma vez que a oferta (transporte marítimo) e a procura (comércio) interagem.

Na Figura 2 apresentamos uma rede de valor das partes intervenientes da indústria marítima SVN que mostra as relações de valor entre elas dentro da indústria marítima e o seu meio envolvente (Cameron, Crawley, Loureiro, & Rebentisch, 2008). Na figura, cada retângulo representa uma parte interessada. As setas mostram o fluxo de valor incluindo bens ou serviços entre elas, incluindo companhias de navegação, empresas de construção naval e sociedade classificadora. Embora a indústria marítima tenha vários tipos de interessados, como mostra a SVN, a interface entre a parte pública e a indústria naval é a interação entre as companhias de navegação e os expedidores.

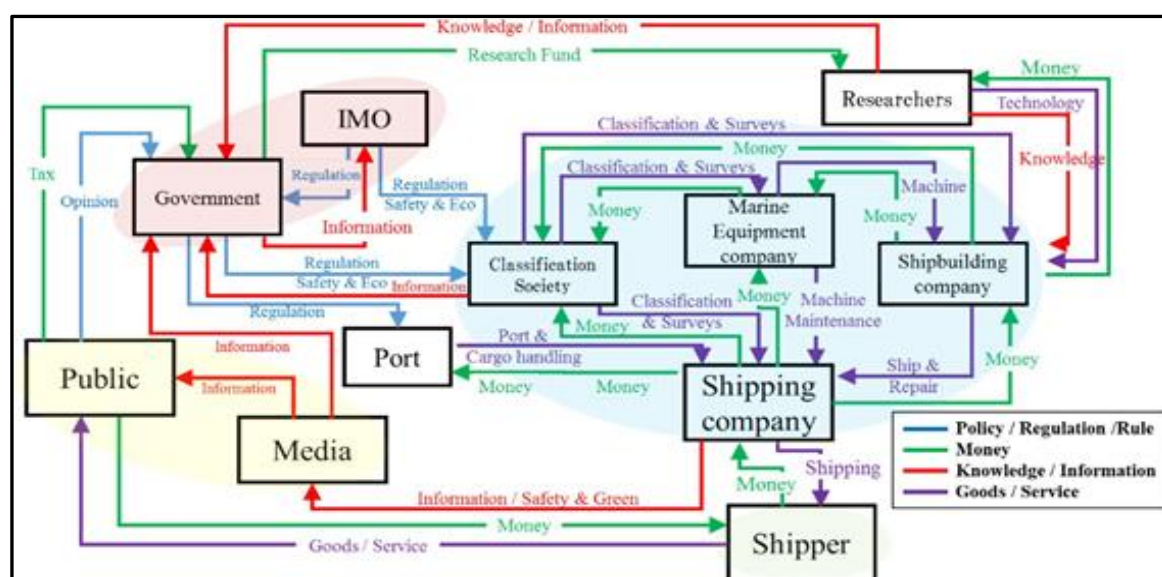


Figura 2 – SVN (rede de valor das partes interessadas) da indústria marítima)¹⁷

As funções de nível superior do serviço de transporte marítimo incluem o transporte de carga, a segurança, eficiência, eficácia e pontualidade (Cameron, Crawley, Loureiro, & Rebentisch, 2008).

O transporte de carga é decomposto em funções internas: transporte marítimo, operação nos portos e transporte em terra. O navio é um equipamento de transporte no mar, e tem propriedades que incluem em cada momento plano de viagem, direção, situação e localização. O próprio navio pode ser decomposto em instrumentos internos: um sistema de navegação e comunicação, maquinaria e sistema de propulsão, estrutura do navio, e sistema de manuseamento de carga. O sistema de navegação e comunicação são operados por tripulações formadas e identificadas com estes sistemas. A maquinaria, o sistema de propulsão e a estrutura do navio mudam e afetam o estado do navio e por consequência o transporte de mercadoria. Ao detetar o estado, os sistemas atualizam o sistema de navegação e de comunicação. A operação nos portos é caracterizada pelos sistemas de movimentação de carga, os operadores portuários e as instalações portuárias. A operação do porto inclui o planeamento do tempo de atraso e de espera na manipulação das cargas.

¹⁷ https://www.researchgate.net/figure/SVN-of-maritime-industry_fig1_342990823 (acedido 25/4/2022)

O impacto potencial das alterações climáticas nos ecossistemas e na vida humana destacaram o custo ambiental associado à indústria marítima. A questão do transporte e do ambiente é paradoxal, uma vez que o transporte traz benefícios socioeconómicos substanciais, mas ao mesmo tempo, implica emissões de gases com efeito estufa, poluição costeira e de alto mar e risco de eventos catastróficos elevados (*e.g.*, derrame de carga química no oceano). Em termos agregados, o setor dos transportes é responsável por cerca de 22% das emissões de gases com efeito de estufa, sendo o transporte rodoviário responsável por três quartos desta quota (Gráfico 3). Nas emissões de CO₂ para a atmosfera, o transporte aéreo e o transporte marítimo são responsáveis por 11%, cada. De acordo com um estudo apresentado pela IMO em 2020, as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) - incluindo dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), expressas em CO₂e - do total dos transportes marítimos (internacionais, domésticos e de pesca) aumentaram de 977 milhões de toneladas em 2012 para 1.076 milhões de toneladas em 2018 (aumento de 9,6%). Em 2012, 962 milhões de toneladas eram emissões de CO₂, enquanto em 2018 esta quantidade cresceu 9,3% para 1.056 milhões de toneladas de emissões de CO₂¹⁸

Contudo, há pouca ou nenhuma disputa sobre o facto de a navegação ser o meio de transporte mais eficiente em termos de carbono (Dallasega, Rauch, & Linder, 2018), produzindo menos emissões de gases de escape por cada tonelada transportada num quilómetro, comparativamente ao transporte aéreo ou rodoviário.

A dimensão e natureza global da indústria naval torna vital que a indústria continue a reduzir o seu impacto ambiental e que a indústria tenha feito progressos significativos na eficiência dos combustíveis (Da Silva, 2019). Além disso, as condições ambientais têm impacto nos sistemas de transporte em termos de condições de funcionamento e requisitos de infraestruturas, tais como construção e manutenção.

Tem sido feito um esforço dos decisores políticos em tornar o transporte marítimo mais ecológico. Por exemplo, a nova regulamentação da IMO de 2016 e retificada pela Diretiva (UE) 2016/802 do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia de 11 de maio de 2016, especifica os limites de escape de gases permitidos para que os navios possam entrar nos portos europeus após 2020 (por exemplo, o nível de óxidos de enxofre não deve exceder 0,5% mm).

¹⁸ <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx> (acedido em 24/2/2022)

Também os profissionais da construção naval e da indústria naval estão preocupados com o desenvolvimento de novos tipos de navios, movidos por eletricidade, hidrogénio ou híbridos (Iakovleva, Solesvik, & Borch, 2020).

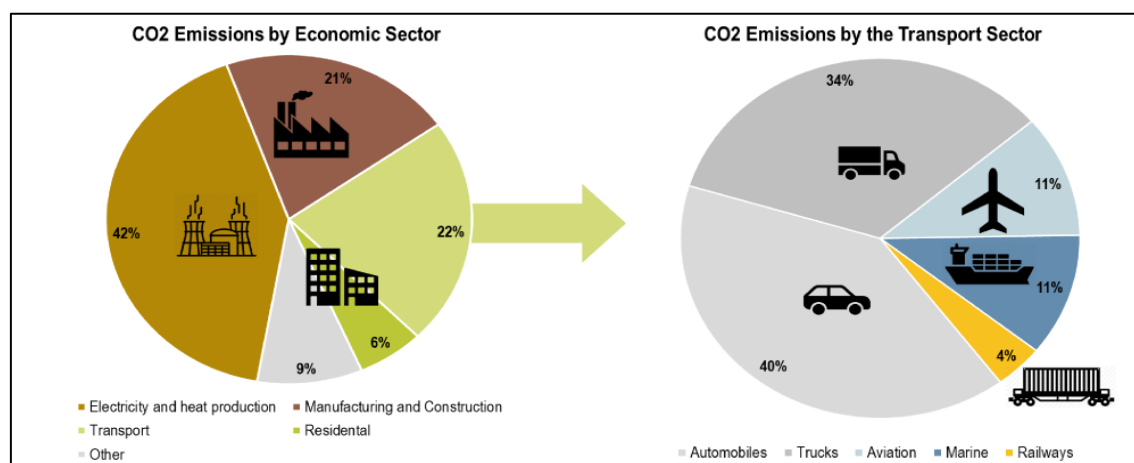


Gráfico 3 – Emissões globais de gases com efeito de estufa pelo setor dos transportes¹⁹

2.2 ANÁLISE SWOT

Uma estrutura que é amplamente utilizada quando é necessária uma análise eficaz da situação é a representação de fatores estratégicos pertinentes dentro de quatro categorias distintas, amplamente conhecida como análise SWOT. Esta análise consiste em duas variáveis categóricas dicotómicas. Uma variável diz respeito à origem de cada fator estratégico, decompondo entre contexto interno ou externo. A outra variável diz respeito ao atributo qualitativo do fator, identificando se é benéfico ou desfavorável.

Esta dissertação considera a análise SWOT quantitativa e qualitativa como um precedente: os seus resultados servem de base para analisar a aplicação da *Blockchain* na indústria marítima. A SWOT tem sido utilizada extensivamente para o setor marítimo. A utilidade da identificação forças, fraquezas, oportunidades, e ameaças relacionadas à competição em negócios ou planeamento de projetos, não é restrita ao domínio da investigação, uma vez que na indústria marítima as empresas e agências marítimas também o consideram útil. Por exemplo, o estudo

¹⁹ Fonte: <https://transportgeography.org/contents/chapter4/transportation-and-environment/greenhouse-gas-emissions-transportation/> (Acedido 25/4/2022)

aprovado pela Comissão Europeia²⁰ utilizou uma análise SWOT para avaliar o papel das organizações de *clusters* marítimos como membros dinâmicos, dentro do setor marítimo europeu. (Stavroulakis & Papadimitriou, 2017) emprega fatores estratégicos discretos para avaliar um conjunto de *clusters* marítimos europeus através de uma análise SWOT.

No caso desta investigação, na elaboração do quadro 1 da análise SWOT, foi igualmente considerada a experiência profissional dos autores no setor, para além de fatores unanimemente reconhecidos pelos intervenientes da indústria marítima.

²⁰ EC - *The role of Maritime Clusters to enhance the strength and development in European maritime sectors.*

Quadro 1 – Análise SWOT - Indústria Marítima

Indústria Marítima	
Análise SWOT	
Forças	Fraquezas
Cobertura Global	Dependência Modal
Capacidade transporte de carga pesada, volumosa e de grandes dimensões	Estruturas de organização heterogêneas e falta de integração cultural
Custos operacionais / Ton Transportada	Ineficiências das Transacções com Mínima Transparência
Custo km / ton	Eficiência Energética
Taxas de Frete	"Chokepoints" Marítimos
Tecnologia Operacional	Sistemas de controlo modernos e módulos de expedição autónomos
Transporte de massas mais ecológico	Aplicação de Novas tecnologias Fluxo de dados e movimentos para a IoT
Organizações Internacionais públicas e privadas de apoio	Processamento de grandes quantidades de dados
Direito Marítimo, Padronização de contratos	Condições atmosféricas, perigos náuticos, "Chokepoints" Marítimos
Adaptabilidade a diferentes tipos de carga	Pirataria, Roubo, Fraude, Suborno, corrupção
Oportunidades	Ameaças
Aplicação das novas tecnologias > IoT Tecnologia Blockchain	Conformidade com a regulamentação marítima (Normas Ambientais e Códigos ISO)
Novas tecnologias incorporadas em estratégias e processos empresariais alinhados	Diminuição dos níveis de cibersegurança (especialmente na área das operações digitais) e da resiliência
Eficiência na cadeia de abastecimento	Ameaças de Cyber ataques / segurança
Economia Azul	Elevados riscos de implementação de tecnologias emergentes e preocupações com o retorno do investimento (ROI)
Segurança digital e conformidade	Requisitos de Eficiência e Eficácia
Processamento de grandes quantidades de dados	Processamento de grandes quantidades de dados
Redução dos Custos de Manutenção	Fluxo de dados e movimentos para a IoT

2.3 PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO E OBJETIVOS

Decorrente da análise SWOT efetuada, identificaram-se múltiplas fraquezas e ameaças à indústria marítima em contexto de cadeias de abastecimento digitais.

As principais fraquezas e ameaças identificadas e para as quais a *Blockchain* poderá ser uma solução incluem: a natureza ineficiente das transações, a conformidade com os requisitos das normas e códigos ISM e ISO, os requisitos da cadeia de frio, os fluxos de dados e progressiva adaptação da tecnologia *IoT*, as ameaças de ciber-segurança e fraude, a adequação às novas normas ambientais e de eficiência e aos regulamentos regionais, nacionais e internacionais.

Estes problemas foram recentemente reforçados pela crise pandémica da COVID-19, que afetou profundamente a indústria marítima. Outros desafios, tais como geopolítica, guerras comerciais, sanções e fatores macroeconómicos (volatilidade cambial, um aumento súbito dos preços do petróleo), influenciam os custos operacionais e os lucros. Neste sentido, a recente guerra entre a Rússia e a Ucrânia será um fator adicional de risco para este setor.

Esta dissertação procura identificar e analisar as limitações encontradas colocando-se a seguinte questão de investigação:

RP (Problema de Investigação) – Poderá a tecnologia *Blockchain* aportar ganhos à Indústria Marítima?

Para encontrar uma possível resposta a este problema, o objetivo desta investigação centra-se numa abordagem hipotético-dedutiva ao nível da aplicação da *Blockchain* (1) na rastreabilidade da qualidade do combustível, (2) no seguimento da carga embarcada, (3) na validação dos conhecimentos de embarque eletrónicos (*eB/L*) e (4) nos contratos inteligentes (*smart contracts*) respeitantes ao financiamento de navios e seguros marítimos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A investigação atual sobre aplicações da *Blockchain* na indústria marítima é escassa e confinada na sua maioria a um setor marítimo específico, nomeadamente, o transporte de contentores. Esta revisão de literatura considera a pesquisa de artigos, teses, páginas de *web* e a revisão bibliográfica de outros académicos (Chen, Li, & Zhang, 2021); (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003) atribuindo especial foco aos melhoramentos na eficácia, eficiência e sustentabilidade desta atividade em várias áreas de modo a salientar a importância da aplicação da *Blockchain* no desenvolvimento futuro da indústria marítima.

A digitalização das diversas atividades produtivas tem sido um processo contínuo nas últimas décadas, à qual a indústria marítima não foi exceção (Tijan, Jović, Aksentijević, & Pucihar, 2021). Num período recente têm ganho destaque as inovações associadas à inteligência artificial, a utilização/exploração de *Big Data* e a interligação de sistemas entre partes independentes.

3.1 SISTEMAS CENTRALIZADOS

O sistema centralizado é construído com base num servidor central que gere um conjunto de computadores ligados remotamente que processam e armazenam os dados, habitualmente referidas como “nós”. O servidor central trata de todos os pedidos provenientes dos vários nós e atribui novos pedidos aos diversos nós da rede. Tipicamente, a comunicação entre vários nós e o servidor central é feita através de uma ligação TCP (*Transmission Control Protocol*) na qual, quando uma ligação é criada, são enviadas mensagens entre o servidor central e o nó ligado. Exemplos destas mensagens incluem o registo do nó e a obtenção do endereço do nó (Hugoson, 2007).

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. Além disso, a utilização de um servidor central poupa os custos associados à existência de múltiplos equipamentos de *hardware* descentralizados. A construção de um sistema centralizado só necessita de um computador central com os elementos de *hardware* e *software* necessários, enquanto outros nós, poderão ser apenas terminais.

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, 2007).

Muitas das transações que fazemos diariamente requerem um agente central, quer seja um banco, uma plataforma de correio eletrónico, ou uma aplicação de *ridesharing* (navegação partilhada). Estes agentes centrais ou organizações cobram frequentemente taxas pelos seus serviços. O utilizador é obrigado a confiar nestes agentes centrais.

No caso de uma transferência bancária, por exemplo, confiamos nos bancos, não só para completar a troca sem interferência fraudulenta, mas também para manter um registo da transferência incluindo todos os detalhes que a definem. Há pouco trabalho requerido do lado do remetente ou do recetor; em vez disso, o ónus de completar a tarefa com êxito é do banco, correspondendo este serviço a um custo para uma ou ambas as partes envolvidas. Embora este sistema tenha sido crucial no desenvolvimento de inúmeras atividades fundamentais ao atual modelo económico (seja no setor financeiro, aeronáutico ou digital), a sua concentração em entidades únicas centralizadas poderá ser ineficiente incorporando ainda alguns riscos de segurança (Tommasi & Weinschelbaum, 2007).

3.2 SISTEMAS DESCENTRALIZADOS

Numa rede descentralizada, os computadores (nós) comunicam entre si sem necessidade de comunicação com um 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 nós têm a possibilidade de ligar e comunicar entre si para partilhar informações e fornecer vários serviços a outros nós (Kawano, Orimo, & Mori, 1989).

Existem duas estruturas básicas para um sistema descentralizado: (i) estrutura puramente descentralizada e (ii) estrutura organizacional. Enquanto na estrutura puramente descentralizada todos os nós, são responsáveis por tomar as suas próprias decisões sem ter

qualquer autoridade para gerir a comunicação e as operações entre os nós do grupo, na estrutura organizacional existe um “super-nó” para uma pequena rede que gere a comunicação e toma decisões em nome da sub-rede. A sub-rede é então definida por conjuntos de “super-nós” ligados a nós semelhantes na rede para partilha de informação e tomada de decisões (Atlam, Attiya, & El-Fishawy, 2013).

O sistema descentralizado oferece vantagens face ao sistema centralizado. A ausência de armazenamento numa unidade comum torna a informação menos vulnerável a ser adulterada numa unidade central e garante que os sistemas permanecerão operacionais se determinados nós, não estiverem acessíveis (Kawano, Orimo, & Mori, 1989). Este tipo de sistema também reduz a possibilidade de controlar e operar todo o sistema com apenas um servidor central, por permitir que cada nó participe nas operações de tomada de decisão.

Estas vantagens não são ausentes de limitações. O sistema descentralizado é mais complexo do que o sistema centralizado e tem normalmente associado custos mais elevados, pois cada nó necessita de poder de processamento e memória suficientes para executar operações e tomar decisões de forma independente. Além disso, potencia problemas de coordenação entre as várias sub-redes (Atlam, Walters, & Wills, 2018).

3.3 SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

Um sistema distribuído é um conjunto de nós autónomos interligados para formar uma rede única e integrada coerente com um enorme poder de processamento e armazenamento para atingir 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).

O sistema distribuído proporciona inúmeros benefícios face ao sistema centralizado, pois permite aumentar o desempenho global do sistema ao distribuir a carga computacional por diferentes nós, o que proporciona menos carga em cada nó, o que por sua vez aumenta o desempenho de todo o sistema. Além disso, favorece uma rede fiável de nós onde se um nó cair, o sistema inteiro não será afetado, o que elimina o problema do *ponto único de falha*.

A Figura 3 ilustra a estrutura dos sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos.



Figura 3 – Estrutura de sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos (Atlam & Wills, 2019)

Por sua vez, o Quadro 2 apresenta uma comparação resumo entre sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos em termos de escalabilidade, segurança, manutenção, estabilidade, complexidade e ponto de falha.

Quadro 2 – Comparação entre sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos

Comparação entre sistemas centralizados, descentralizados e distribuídos			
Funcionalidade	Sistema centralizado	Sistema descentralizado	Sistema distribuído
Escalabilidade	Baixa	Moderada	Infinita
Segurança	Alta	Moderada	Baixa
Manutenção	Fácil de manter	Moderada	Difícil de manter
Estabilidade	Altamente instável	Possível recuperação	Muito estável
Complexidade	Menos complexa	Moderada	Complexa
Ponto de falha	Um único ponto de falhas	Finito número de Falhas	Infinito número de falhas

(Atlam & Wills, 2019)

3.4 DISTRIBUTED LEDGER TECHNOLOGY

A tecnologia do Livro-Razão distribuído (em inglês *Distributed Ledger Technology* – DLT) tem ganho uma grande atenção nos últimos anos como um sistema de transações inovador. A DLT combina um grupo de nós confiáveis num ambiente distribuído e descentralizado e fornece um livro-razão imutável que não pode ser alterado e que elimina a necessidade de uma parte terceira centralizada de confiança (Xu, et al., 2017).

Existem quatro componentes principais para implementar um sistema DLT (Atlam, Alenezi, Alassafi, & Wills, 2018):

- Nós: representam os utilizadores participantes no sistema. Os nós têm diferentes papéis na rede, incluindo administrador do sistema, introdutor de dados, proponente, validador e auditor. O administrador do sistema controla o acesso ao sistema e fornece serviços de gestão do sistema. O introdutor de dados é autorizado a lançar novos dados. O proponente propõe atualizações ao livro-razão, enquanto o validador confirma a validade de uma proposta de alteração no livro-razão. A função mais baixa é a de auditor, que permite ao utilizador visualizar o livro-razão sem a permissão de fazer alterações ou atualizações.
- Livro-razão partilhado: é uma base de dados partilhada para armazenar todas as transações que pertencem aos nós participantes na rede. Uma vez que o livro-razão pode ser armazenado em locais diferentes, tem de ser atualizado e sincronizado com as outras cópias do Livro-Razão no sistema em muito pouco tempo.
- Criptografia: as transações entre dois nós comunicantes são registadas, mantidas e protegidas criptograficamente. Todos os nós da rede, poderão criar uma transação de forma segura sem a necessidade de uma autoridade central. A criptografia desempenha um papel vital no *DLT* estando subjacente aos nós aprovados, à validação dos registos e na atualização do Livro-Razão. Por outras palavras, existe uma assinatura digital criptográfica para cada nó participante autenticar-se antes de adicionar ou alterar uma transação no Livro-Razão.
- Mecanismo de Consenso: este é o processo utilizado por todos os nós participantes na rede para validar o conteúdo do livro-razão. O consenso inclui geralmente duas fases: (i) validação e (ii) acordo sobre a atualização do livro-razão. Existem múltiplos mecanismos de consenso. No entanto, os mecanismos mais comuns são a *Proof of Stake* (PoS) e a *Proof of Work* (PoW). A principal diferença entre vários mecanismos de consenso é a forma como eles delegam e validam a verificação de uma transação (Sikorski, Haughton, & Kraft, 2017).

A *DLT* é uma tecnologia polivalente que não necessita de um servidor centralizado para gerir operações e assegurar a confiança entre as partes comunicantes, uma vez que o Livro-Razão distribuído rastreia a propriedade de diferentes nós na rede e serve como um registo de transações que pode ser acedido em qualquer lugar através de uma rede descentralizada. A informação sobre o livro-razão é armazenada de forma segura, tendo cada entrada um registo

criptográfico único, assinatura digital e valores de carimbo da hora. Todos os participantes na rede têm a capacidade de fazer adições ao registo, as quais são depois copiadas e distribuídas à rede uma vez validadas. Todos os nós, possuem uma cópia do registo distribuído (Natarajan, Krause, & Gradstein, 2017).

A tecnologia *DLT* como nova tecnologia pode acrescentar enormes vantagens a diferentes aplicações em relação ao *ledger* centralizado e a outros tipos de *ledgers* partilhados. Os potenciais benefícios do *DLT* são os seguintes: (i) disponibilidade; (ii) automatização e programação; (iii) imutabilidade e verificação; (iv) descentralização; (v) transparência; (vi) eficiência; (vii) segurança e resiliência; (viii) redução de custos. (Natarajan, Krause, & Gradstein, 2017); (Atlam, Alenezi, Alassafi, & Wills, 2018); (Sultan, Ruhi, & Lakhani, 2018).

A esta aplicação é apontado um enorme potencial para mudar a forma como os governos e organizações registam e executam transações. Pode trazer inúmeras vantagens a várias atividades governamentais, tais como na cobrança de impostos, processos da segurança social, emissão de passaportes, licenças e processos eleitorais (Benčić & Žarko, 2018). Pode também proporcionar várias vantagens a outras aplicações, em particular na área financeira, na segurança cibernética, nos serviços públicos e nos cuidados de saúde (Benčić & Žarko, 2018).

A *DLT* está ainda numa fase de desenvolvimento inicial e há muitas questões tecnológicas e jurídicas que precisam de ser abordadas. Os desafios mais comuns da *DLT* estão resumidos na Figura 4.



Figura 4 – Desafios da DLT (Atlam, Alenezi, Alassafi, & Wills, 2018)

O primeiro tipo de desafios da *DLT* está relacionado com as questões tecnológicas que incluem a falta de maturidade, a escalabilidade, a elevada necessidade de latência, a interoperabilidade, a segurança e a governação.

O segundo tipo de desafios da *DLT* são as questões legais e regulamentares que incluem um contexto legislativo escasso e em constante mutação, a necessidade de adequação às normas de propriedade intelectual e a escassez de um enquadramento regulamentar para contratos dinâmicos/inteligentes.

3.5 *BLOCKCHAIN*, DAG E TEMPO

As *DLT*'s podem ser classificadas de acordo com a sua estrutura de registo das transações. Entre as várias estruturas da *DLT*, existem três estruturas principais que foram amplamente adotadas: a *Blockchain*, a *Directed Acyclic Graph* (DAG) e a *Tempo*, que estão representados na figura 5 (Benos, Garratt, & Gurrola-Perez, 2017).

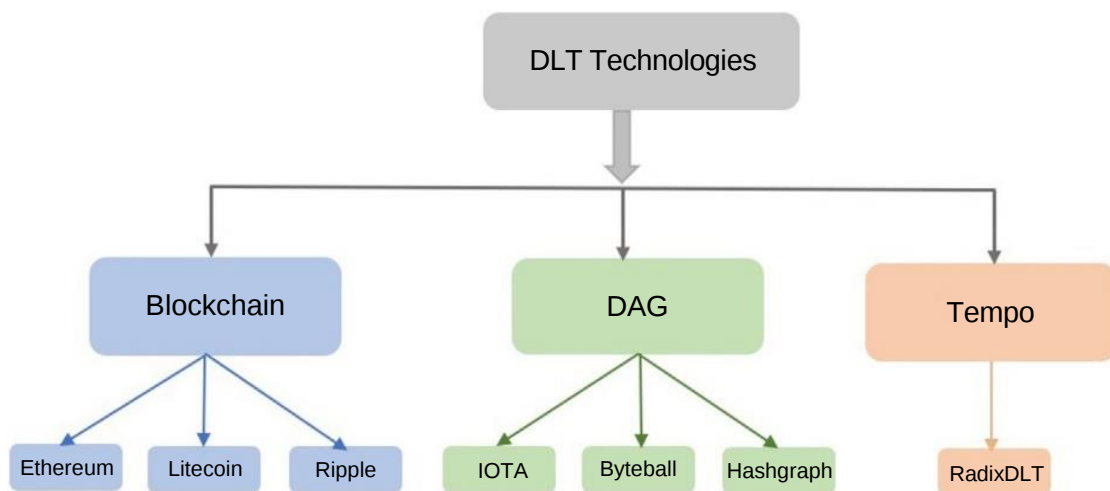


Figura 5 – Tecnologias *DLT* e aplicações comuns de cada tecnologia (Benos, Garratt, & Gurrola-Perez, 2017)

A *Blockchain* é definida como um Livro-Razão distribuído e descentralizado de transações para gerir um grupo de registos em contínuo crescimento.

As transações são registadas com uma assinatura criptográfica imutável chamada *hash* (Atlam & Wills, 2019) e um conjunto de transações é agrupado correspondendo a um bloco no Livro-

Razão (Atlam, Alenezi, Alassafi, & Wills, 2018). Cada bloco funciona com base no sistema de prova de trabalho (*Proof-of-Work*), isto é, para ligar os blocos em cadeia, cada bloco engloba um carimbo temporal e um identificador único ou impressão digital (*hash*) dos dados contidos no bloco, assim como o *hash*²¹ que refere ao bloco anterior. A existência de um *hash* por bloco valida a integridade e a impossibilidade de negação dos dados introduzidos anteriormente no bloco.

Finalmente, o servidor do carimbo da hora publica os *hashes* dos blocos anteriores, provando que os dados existiram anteriormente (uma vez que tem um *hash*), incluindo também o carimbo temporal anterior no *hash*, formando assim uma cadeia reforçada por cada carimbo adicional, tal como detalhado na Figura 6.

Estas replicações significam que cada nó atua simultaneamente tanto como um editor como um sub-nó que, entretanto, já se desenvolveu e começou a incorporar outros, permitindo enviar ou receber transações de e para outros nós, enquanto os dados são sincronizados através da rede (Blockchainhub, 2022).

O sistema *Blockchain* é público, o que significa que qualquer pessoa pode participar e contribuir para a cadeia. Para manter atualizados todos os nós participantes da rede, cada utilizador detém uma cópia do Livro-Razão original e todos os nós são sincronizados e atualizados com as novas alterações (Atlam, Alenezi, Alassafi, & Wills, 2018).

No conceito de prova de trabalho (*proof of work*), o servidor de carimbos temporais e a distribuição do Livro-Razão constituem um *modelo de consenso* onde tem de haver acordo, ou seja, consenso entre todos os intervenientes, para concluir e processar qualquer transação. Na sua ausência, as transações ficam paralisadas. Os modelos de consenso definem a segurança da *Blockchain*, mantendo a coerência em todo o estado partilhado, que é o sistema de validação da *Blockchain* (Nakamoto, 2008), e que assegura que todas as transações são autenticadas, seguras e verificáveis (Watanabe, et al., 2015). Devido a estas características, uma rede *Blockchain* reforça a confiança dentro da cadeia para todos os utilizadores, uma vez que os nós participantes são as únicas entidades a aceitar ou descartar uma transação com base no seu consentimento (Nakamoto, 2008) e (Reyna, Martín, Chen, Soler, & Díaz, 2018).

²¹ Qualquer algoritmo que mapeie grandes dados e de tamanho variável para pequenos dados de tamanho fixo.

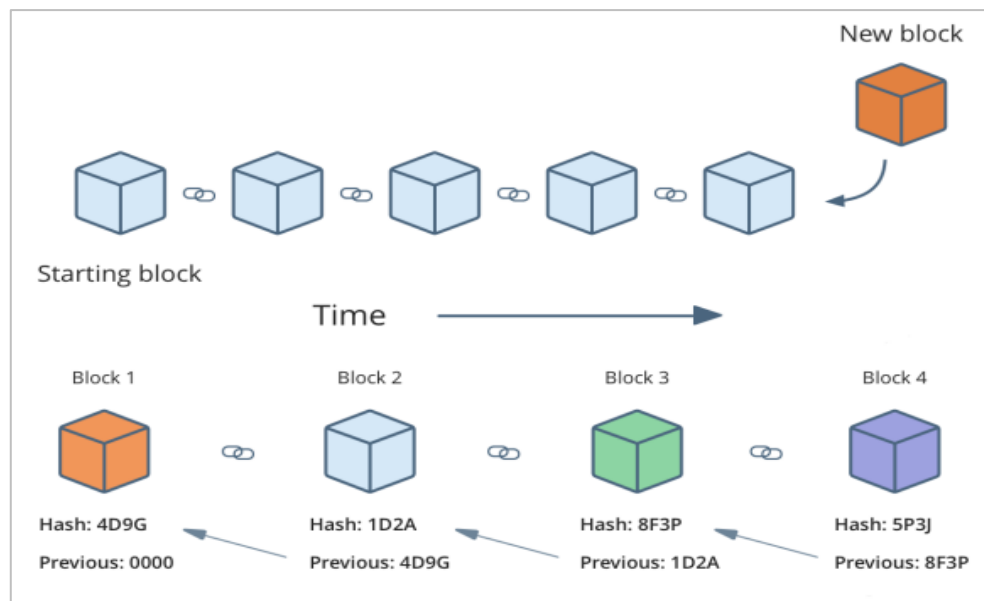


Figura 6 – Princípio da tecnologia da *Blockchain*²²

Um segundo tipo de *DLT* é a *Directed Acyclic Graph*. Esta tecnologia consiste numa estrutura de dados dirigida que utiliza uma ordenação topológica. A *DAG* envolve múltiplos nós ligados uns aos outros com arestas, que estabelecem as ligações entre nós com uma direção específica. O registo de informação é feito em sequência de tal forma que a partir de cada nó na sequência não seja possível retornar a esse nó. A *DAG* é, assim, uma estrutura não circular, isto é, as transações estão interligadas entre si, cada transação confirmando a seguinte, por oposição ao requisito de provas de trabalho de cada transação na *Blockchain* (Cho, Elhourani, & Ramasubramanian, 2011).

Por oposição à *Blockchain* que adiciona blocos de informação de forma sequencial, na *DAG*, os blocos de informação não são lineares e, em vez disso, possuem uma estrutura ramificada, "tipo árvore". Um *DAG* é dirigido porque segue uma ordem topológica – a sequência só pode mover-se de mais cedo para mais tarde (Figura 7). Desta forma, não é muito diferente de uma *Blockchain*.

Pode-se comparar um *DAG* com uma estrutura de diretório de ficheiros onde as pastas têm subpastas que se ramificam em outras subpastas e assim por diante.

²² https://www.reddit.com/r/CryptoCurrency/comments/pbw024/blockchain_vs_dag_an_overview/

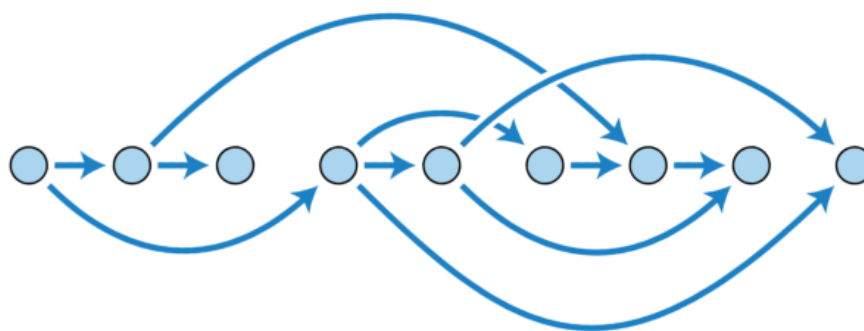


Figura 7 – Transações na Estrutura da DAG²³

Há várias aplicações que utilizam *DAG*, tais como *IOTA*, *Byteball*, *Raiblocks*, *Hashgraph* e *Hylochain*.

Por último, a tecnologia DLT *Tempo* usa partições do Livro-Razão para realizar uma ordenação de ações que ocorrem em toda a rede. O *Ledger Tempo* consiste em três componentes fundamentais: 1) Um aglomerado de nós em rede; 2) Uma base de dados global de *ledger* distribuída pelos nós; 3) Um algoritmo para gerar um registo criptográfico seguro de eventos ordenados temporalmente.

Um exemplo da *Tempo* é chamado Universo e qualquer evento dentro de um Universo, tal como uma mensagem ou transação, é representado por um objeto chamado Átomo. (RADIX, 2021).

O *Radix* utiliza uma estrutura de dados chamada *Tempo*, em que os nós, dependem da passagem do tempo lógico para validar as transações. A *Radix* implementa relógios lógicos, um sistema baseado na teoria do relógio lógico de *Leslie Lamport*. Na *Radix*, os relógios lógicos são essencialmente contadores que contam para cima em incrementos de 1, cada vez que um nó vê um evento novo e válido no livro-razão. O nó verifica a sua própria base de dados, incrementa o seu relógio lógico, carimba o evento com um novo carimbo de data/hora e ID.

São necessários compromissos periódicos através de árvores *merkle*²⁴ para assegurar que os nós, não mentem sobre a ordem dos eventos históricos no livro-razão.

²³ Fonte: https://www.reddit.com/r/CryptoCurrency/comments/pbw024/blockchain_vs_dag_an_overview/ (acedido 27/4/2022)

²⁴ Em criptografia e ciência da computação, árvores de dispersão ou árvores de *Merkle* são um tipo de estrutura de dados que contém uma árvore de informações resumidas sobre um pedaço maior de dados – por exemplo, um arquivo – usado para verificar o seu conteúdo.

A *Blockchain* é em termos de notoriedade a mais conhecida, pois foi lançada em 2008 face ao desenvolvimento posterior das duas outras tecnologias, em 2017 e 2018, respetivamente. Contudo, apesar de a mineração requerida, o tempo de verificação, as taxas de transação e o consumo de energia serem mais elevados na *Blockchain*, esta, face à sua popularidade, desenvolvimento e histórico, tem sido preferencialmente escolhida pelas empresas da indústria marítima.

Resumindo, *Distributed Ledger Technology (DLT)* é um termo “guarda-chuva” utilizado para descrever tecnologias que distribuem registos ou informação (do tipo que se pode encontrar em livros de contabilidade) entre todos aqueles que a utilizam, quer em privado quer publicamente, conforme Figura 8.

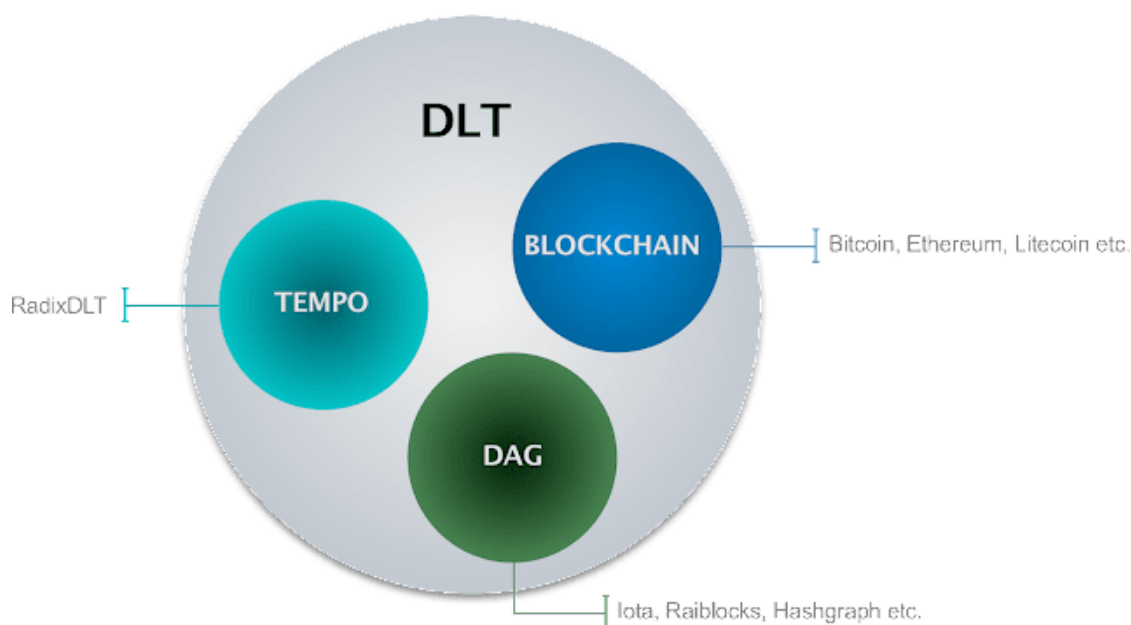


Figura 8 – *Distributed Ledger Technology (DLT)*²⁵

No Quadro 3 apresentamos uma comparação entre estas três tecnologias de DLT em termos de estrutura de dados, tempo de verificação, aplicações e projetos para cada tecnologia, escalabilidade, taxas de transação, necessidade de mineração (processo de adicionar registos de transações ao livro-razão público, que armazena transações passadas)²⁶, consumo de energia e notoriedade.

²⁵ <https://komodoplatfrom.com/en/academy/distributed-ledger-technology/>

²⁶ A mineração de criptomoedas é uma parte crucial da tecnologia através da qual as transações de moedas entre usuários são feitas e adicionadas ao registo digital conhecido como *blockchain*.

Quadro 3 – Comparação das três tecnologias principais da DLT

Item	<i>BLOCKCHAIN</i>	<i>DAG</i>	<i>TEMPO</i>
Estrutura de dados	Ledger distribuído com blocos encadeados utilizando a função Hash	Estrutura de dados gráfica dirigida que utiliza uma ordenação topológica	Tempo Ledger constituído por uma base de dados distribuída e um algoritmo de consenso
Tempo de Verificação	Vários Minutos	Minutos	<5 Segundos
Aplicações	Bitcoin, Litecoin, Ripple, Ethereum, etc	IOTA, Byteball, e Raiblocks, Hashgraph and Hylochain	Redix DLT
Escalabilidade	Menos escalável	Escalonável mas não ajustado	Escalonável mas não ajustado
Taxas de transação	Altas	Baixas	Baixas
Processo de Mineração	A mineração é necessária	Não é necessária mineração	Não é necessária mineração
Consumo de energia	Elevado consumo de energia para o processo de mineração	Menos consumo de energia, uma vez que não está envolvida qualquer exploração mineira	Menos consumo de energia, uma vez que não está envolvida qualquer exploração mineira
Notoriedade	Muito bem conhecido, foi lançado em 2008	Ainda não é bem conhecido, lançado em 2017	Ainda não é bem conhecido, lançado em 2018

(Atlam & Wills, 2019)

3.6 SMART CONTRACTS

Os contratos inteligentes são programas armazenados numa *Blockchain* que funcionam quando um conjunto de condições pré-determinadas são cumpridas. São tipicamente utilizados para automatizar a execução de um acordo de modo que todos os participantes possam ter a certeza imediata do resultado, sem qualquer envolvimento ou perda de tempo por via de intermediários.

Podem também automatizar um fluxo de trabalho, desencadeando a ação seguinte quando as condições são satisfeitas²⁷.

Contratos inteligentes funcionam seguindo declarações "se/quando...então..." que são escritas em código numa *Blockchain*. Uma rede de computadores executa as ações quando as condições pré-determinadas são cumpridas e verificadas. Estas ações podem incluir a libertação de fundos para as partes apropriadas, o registo de um veículo, o envio de notificações, ou a emissão de um bilhete. A *Blockchain* é então atualizada quando a transação é concluída. Isto significa que a transação não pode ser alterada, e apenas as partes a quem foi concedida autorização podem ver os resultados²⁸

Dentro de um contrato inteligente, pode haver tantas estipulações quantas forem necessárias para satisfazer os participantes de que a tarefa será concluída satisfatoriamente. Para estabelecer os termos, os participantes devem determinar como as transações e os seus dados são representados na *Blockchain*, acordar as regras "se/quando...então..." que regem essas transações, explorar todas as exceções possíveis, e definir um quadro para a resolução de litígios. O contrato inteligente pode ser programado individualmente por um programador. Contudo, as organizações que utilizam a *Blockchain* para negócios fornecem cada vez mais modelos, *interfaces web* e outras ferramentas *on-line* para simplificar a programação/definição de contratos inteligentes.

Um dos documentos mais significativos e valiosos da indústria marítima é o Conhecimento de Embarque (*Bill of Lading*) que reconhece que a carga foi expedida e pode conter detalhes tais como quantidade, descrições, peso, porto de carga e de descarga da carga e marcas de embarque.

Para além disso abrange três finalidades distintas; (i) contrato de transporte: entre o transportador e o carregador, sendo emitido após o embarque da carga que representa; (ii) recibo de entrega da mercadoria: ao transportador ou a bordo do navio, sendo a comprovação documental do armador de recebimento da carga para transporte; (iii) título de crédito: o que significa que é o documento de resgate da mercadoria junto do transportador no destino final para o qual o transporte foi contratado. Pode, também, ser transferido a terceiros mediante endosso.

²⁷ https://www.ibm.com/topics/smart-contracts?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=smart%20contracts%20in%20blockchain (acedido 27/4/2022)

²⁸ https://www.ibm.com/topics/smart-contracts?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=smart%20contracts%20in%20blockchain (acedido 27/4/2022)

3.7 CARACTERÍSTICAS ADICIONAIS DA *BLOCKCHAIN*

Uma diferenciação relevante na tecnologia da *Blockchain* é entre uma estrutura de *Blockchain com permissão* e uma estrutura *Blockchain sem permissão* (Xu, et al., 2016). Aqui, o conceito de permissão refere à necessidade de pré-validação dos participantes no processo de consenso, escrita e leitura na rede, nos casos de estruturas *com permissão*. O Quadro 4 resume as principais diferenças entre estes dois tipos de estrutura.

Em comparação com a *Blockchain sem permissões*, uma estrutura *com permissões* é mais congruente com o atual ambiente regulador devido à utilização de entidades reais dos participantes (Ducas & Wilner, 2017). Assim, podem legalmente acolher propriedades fora da cadeia no mundo real, o que as torna mais adequadas para empresas comerciais. Além disso, também proporcionam flexibilidade aos proprietários para alterar as regras e inverter as transações (UK Science, 2016). Por conseguinte, as *Blockchain com permissão* são mais adequadas para empresas comerciais que exigem um maior desempenho em termos de privacidade, rapidez e conformidade com a regulamentação; as *Blockchain sem permissão* são mais adequadas para atividades que exigem um elevado nível de transparência e auditoria.

Quadro 4 – Comparação da *Blockchain* com e sem permissão

Comparação da <i>Blockchain</i> com permissão e sem permissão.		
<u>Propriedades</u>	<u>Blockchain Com Permissão</u>	<u>Blockchain sem permissão</u>
Processo de Consenso	Aberto ao público	Só aberto a validadores pré-seleccionados
Direito de escrever e ler	Aberto ao público	Só aberto a validadores pré-seleccionados
Capacidade de acolher bens do mundo real	Não	Sim
Capacidade de reverter transações	Não	Sim
Eficiência de custos	Menos favorável	Mais favorável
Velocidade	Lenta	Rápida
Abertura	Alta	Baixa

Em seguida, apresentamos quatro plataformas de Livros-Razão distribuídos, nomeadamente *Hyperledger Fabric*, *Corda*, *Ethereum* e *Ethereum Quorum*, uma vez que são as mais populares utilizadas na indústria marítima, com base nas conclusões retiradas na investigação. Vale a pena

mencionar que o *Corda* não é uma *Blockchain*, mas outro tipo de tecnologia de livros-razão distribuídos, uma vez que as suas transações não são agrupadas sob a forma de blocos. O *Corda* e o *Hyperledger Fabric* apoiam o *Java* para desenvolver contratos inteligentes, o que os torna fáceis de serem implementados uma vez que o *Java* é uma linguagem de programação *mainstream* (Swan, 2018). *Ethereum* e *Ethereum Quorum* são baseados no protocolo *Ethereum*, que é mais desenvolvido no que respeita à base de código, base de utilizadores e comunidade que desenvolve estes sistemas em comparação com os outros dois sistemas (Vukolić, 2017). Em termos de contratos inteligentes, o *Corda* não só inclui códigos técnicos, mas também contém prosa legal em linguagem natural (Valenta & Sandner, 2017), enquanto os outros três sistemas carecem desta característica. Isto torna o *Corda* mais atrativo em indústrias fortemente regulamentadas. Um resumo das características importantes destas plataformas é fornecido no Quadro 5 para facilidade de comparação.

Quadro 5 – DLT: Tecnologia de livro-razão distribuído; *Proof of Work*; *PoS*: *Proof of Stake*

DLT Caraterísticas	Ethereum	Ethereum Quorum	Hyperledger Fabric	Corda
Permissão	Sem Permissão	Permitido	Permitido	Permitido
Integrado em Crypto moeda	Sim	Sim	Não (mas é possível desenvolver com um código de canal)	Não
Execução do Contrato inteligente	Máquina EVM (Ethereum Virtual Machine)	EVM	Dockers	Máquina JVM (Java Virtual Machine)
Contrato inteligente	Solidez	Solidez	Golang, Java	Kotlin, Java
Idioma de Consenso	Hybrid PoW/PoS	Raft (similar to PoS)	Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)	Raft (similar to PoS)
Nível de transparência	Publica	Publica ou privada	Necessidade de conhecimento base	Necessidade de conhecimento base
Escalabilidade	Menos Favorável	Mais Favorável	Mais Favorável	Mais Favorável

(Atlam & Wills, 2019)

3.8 INTEGRAÇÃO *BLOCKCHAIN* – *IOT*

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.

O extraordinário progresso da *IoT* tem desbloqueado novas oportunidades em diferentes domínios. No entanto, uma das maiores preocupações que constituem um obstáculo à prometida distribuição de dispositivos *IoT* é a falta de confiança. Isto deve-se ao facto de a arquitetura *IoT* existente 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 claros 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 uma visão de onde e como os seus dados estão a ser 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 negócio e o desenvolvimento de um fluxo de trabalho de confiança são reforçados (Ferraro, King, & Shorten, 2018).

Existem várias semelhanças e diferenças entre a *IoT* e a *Blockchain*. O Quadro 6 fornece um resumo de comparação entre a *IoT* e a *Blockchain*.

Quadro 6 – Comparação *IoT* e *Blockchain*

Comparação entre <i>BLOCKCHAIN</i> e <i>IoT</i>		
Items	<i>Blockchain</i>	<i>IoT</i>
Estrutura do Sistema	Descentralizado	Centralizado
Recursos	Consumo de recursos	Recursos restritos
Privacidade	Assegura a privacidade dos nós participantes	Falta de privacidade
Latência	A extracção em bloco é demorada	Exige baixa latência
Escalabilidade	Escala mal dimensionada com uma grande rede	<i>IoT</i> considerado como contendo um grande número de dispositivos
Largura da Banda	Banda Alta com consumo	Os dispositivos <i>IoT</i> têm largura de banda e recursos limitados
Segurança	Tem melhor segurança	A segurança é um dos grandes desafios da <i>IoT</i>

Fonte: Análise dos autores

A integração da *IoT* com a *Blockchain* pode trazer vários benefícios a ambas as tecnologias. Por exemplo, a adoção da arquitetura descentralizada para o sistema *IoT* pode resolver muitas questões de segurança. O modelo de comunicação “*peer-to-peer*” pode ser utilizado para processar biliões de transações entre dispositivos *IoT*, o que pode diminuir os custos de instalação e manutenção de grandes centros de dados centralizados e distribuir computação e armazenamento entre biliões de dispositivos *IoT*. O recurso à descentralização também eliminará a indisponibilidade de toda a rede se um nó for abaixo (Ferraro, King, & Shorten, 2018).

Assim, a descentralização da *Blockchain* pode processar milhares de milhões de transações entre dispositivos *IoT*, visto que o principal objetivo do sistema *IoT* é permitir que vários objetos sejam ligados em qualquer lugar, a qualquer momento por qualquer pessoa, usando qualquer caminho/rede e qualquer serviço (Atlam, Alenezi, Alassafi, & Wills, 2018).

A Figura 9 apresenta a arquitetura centralizada do sistema *IoT* e o sistema *IoT* descentralizado após a integração com a *Blockchain*. Como se pode verificar, na *IoT* centralizada uma autoridade central gere e controla todas as operações dos nós de comunicação. Após a integração desta com a *Blockchain*, constrói-se uma *IoT* descentralizada onde não existe uma autoridade central ou um único ponto de falha.

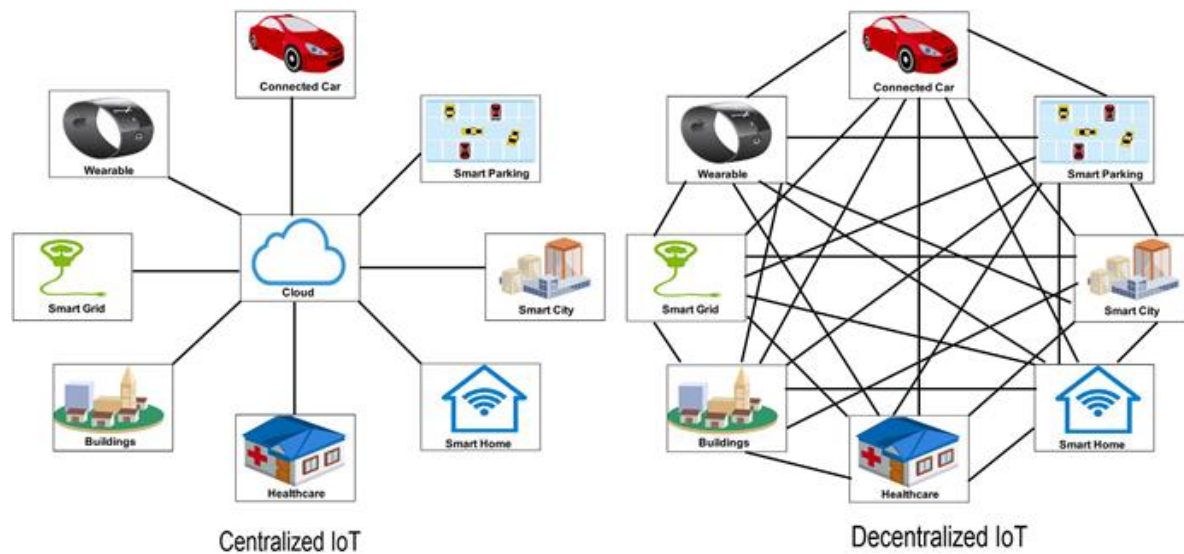


Figura 9 – Arquitetura centralizada do sistema *IoT* e o sistema *IoT* descentralizado após a integração com a *Blockchain*

(Atlam, Alenezi, Alassafi, & Wills, 2018)

Ao utilizarem um registo descentralizado e distribuído para usar as capacidades de processamento de todos os nós de participantes na rede da *Blockchain*, reduz-se a latência e elimina-se o *ponto de falha único*.

Uma vez que não há necessidade de um servidor centralizado na *Blockchain*, os dispositivos *IoT* podem comunicar com segurança, trocar dados entre si e realizar ações automaticamente através de contratos inteligentes (Reyna, Martín, Chen, Soler, & Díaz, 2018).

De acordo com Tapscott & Tapscott, 2016 a integração da tecnologia da *Blockchain* com a *IoT* criará um sistema com as seguintes características:

Responsável, trabalhando em diferentes situações e adaptando-se às condições em mudança;

Resistente, sem o problema do *ponto único de falha*;

Robusto, com capacidade de conter bilhões de nós e transações que afetam o desempenho da rede;

Redutor, com custos otimizados e maior eficiência;

Elevada disponibilidade em tempo real e proporciona um fluxo de dados suave;

Gerador de receitas, proporcionando oportunidades a novos modelos de negócio;

Abertura de origem, evolução infinita e capacidade de atualizar a rede com novos *inputs*;

Fiável, assegurando a integridade dos dados e a fiabilidade dos nós.

A integração destas duas tecnologias começou a ter desenvolvimentos num período recente: a IBM, em parceria com a Samsung, concebeu uma plataforma chamada ADEPT (*Autonomous Decentralized Peer-To-Peer Telemetry*) que utiliza a *Blockchain* para construir uma rede distribuída de dispositivos (Samaniego, Jamsrandorj, & Deters, 2016).

Em 2021 a *Chainofthings*²⁹ criou uma solução integrada da *Blockchain* e *hardware* para resolver os desafios da *IoT* em relação à identidade, segurança e interoperabilidade.

Também em 2021 a *Blockchain*³⁰ criou uma solução que fornece transparência e auditabilidade a objetos da *IoT* através da integração da *Blockchain* com a *IoT*, resolve o problema da ligação de um dispositivo à *Blockchain* e melhora as características essenciais para os projetistas não bloqueadores que trabalham em sistemas *IoT*, fornecendo uma plataforma interoperável e descentralizada.

No Quadro 7 resumimos os principais contributos para a *IoT* por integração da *Blockchain*.

²⁹ <https://www.chainofthings.com/>

³⁰ <https://www.blockchain.com/>

Quadro 7 – As principais aplicações atuais do *Blockchain* no transporte marítimo

Dimensão da <i>IoT</i>	Contributo da <i>Blockchain</i>
Segurança	A <i>Blockchain</i> proporciona um ambiente imutável e seguro para vários tipos de dispositivos <i>IoT</i> . Também assegura a integridade dos dados, uma vez que qualquer alteração deve ser verificada pela maioria dos nós participantes na rede da <i>Blockchain</i> (Halpin & Piekarska, 2017).
Ponto único de falha	Na <i>Blockchain</i> , sendo a comunicação descentralizada e distribuída entre os nós participantes da rede, elimina-se a questão do <i>ponto único de falha</i> . (Khan & Salah, 2018)
Autoridade de terceiros	A <i>Blockchain</i> proporciona uma cadeia de comunicações descentralizada e distribuída para os dispositivos <i>IoT</i> eliminando a necessidade de um servidor ou fornecedor de serviços centralizado para construir a confiança necessária entre os nós de comunicação no sistema <i>IoT</i> . (Khan & Salah, 2018)
Espaço de endereços	Em contraste com IPv4 com 32 bits e IPv6 com espaço de endereços de 128 bits, a <i>Blockchain</i> tem um espaço de endereços de 160 bits que permite à <i>Blockchain</i> gerar e atribuir endereços para cerca de $1,46 \times 10^{48}$ dispositivos <i>IoT offline</i> (Khan & Salah, 2018).
Suscetibilidade para manipulação	A <i>Blockchain</i> proporciona descentralização e imutabilidade do ambiente que permitem detetar e prevenir ações maliciosas. A atualização só é aprovada após o consentimento da maioria dos nós participantes na rede da <i>Blockchain</i> (Khan & Salah, 2018).
Titularidade e identidade	A <i>Blockchain</i> pode fornecer um registo de identidade autorizado e de confiança, assim como rastreio e monitorização da propriedade. Tem sido utilizado com sucesso na monitorização e seguimento de produtos, bens e serviços (Khan & Salah, 2018).
Integridade dos dados	A <i>Blockchain</i> fornece um livro-razão imutável e inviolável que não pode ser atualizado a menos que a maioria dos nós participantes deem o seu consentimento e verifiquem a atualização. (Khan & Salah, 2018)
Autenticação e controlo de acessos	Os contratos inteligentes da <i>Blockchain</i> têm a capacidade de fornecer regras e lógica de autenticação descentralizada que podem permitir uma autenticação eficiente para dispositivos <i>IoT</i> (Khan & Salah, 2018)
Flexibilidade	Com várias opções comerciais e de fonte aberta para a <i>Blockchain</i> , é possível para as organizações utilizar a <i>IoT</i> para concretizar vários objetivos sem gastar uma enorme quantidade de dinheiro em investigação e desenvolvimento. (Khan & Salah, 2018)
Custos e restrições de capacidade	Uma vez que não há necessidade de um servidor centralizado na <i>Blockchain</i> , os dispositivos <i>IoT</i> podem comunicar com segurança, trocar dados entre si e realizar ações automaticamente através de contratos inteligentes (Reyna, Martín, Chen, Soler, & Díaz, 2018).

3.9 CLOUD COMPUTING, FOG COMPUTING AND EDGE COMPUTING³¹

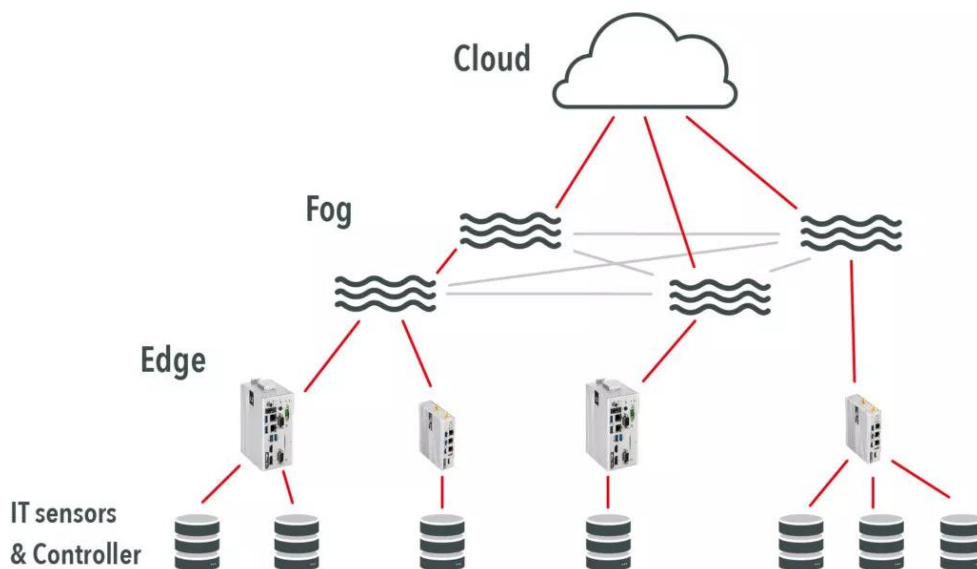


Figura 10 – Cloud Computing, Fog Computing and Edge Computing

A *Cloud Computing*, refere-se à utilização de serviços alojados, tais como armazenamento de dados, servidores, bases de dados, redes e software através da Internet. Os dados são armazenados em servidores físicos, que são mantidos por um fornecedor de serviços na Nuvem. Os recursos do sistema informático, especialmente o armazenamento de dados e o poder informático, estão disponíveis a pedido, sem gestão direta pelo utilizador na computação em nuvem.

Por sua vez e de uma forma muito resumida e simplificada, o *Fog Computing* será a camada de nevoeiro abaixo da *Cloud Computing*, realizando a gestão de conexões entre a nuvem e as bordas (“Edges”) da rede.

A grande diferença entre a *Cloud Computing* e a *Fog Computing* é que esta é um sistema centralizado, enquanto a primeira é uma infraestrutura descentralizada distribuída.

O termo *Fog computing* foi cunhado pela Cisco em 2014, por isso é novo para o público em geral. O nevoeiro e a computação em nuvem estão interligados. Na natureza, o nevoeiro está mais próximo da terra do que as nuvens; no mundo tecnológico, é exatamente o mesmo, o nevoeiro está mais próximo dos utilizadores finais, trazendo as capacidades de nevoeiro para o chão.

³¹ <https://ccg.pt/cloud-computing-vs-fog-computing-vs-edge-computing-na-internet-das-coisas-industrial/>

A definição pode soar assim: nevoeiro é a extensão da computação em nuvem que consiste em múltiplos nós de borda diretamente ligados a dispositivos físicos.

O surgimento da *Fog Computing* como uma extensão da *Cloud computing*, desde o centro da arquitetura da Internet até aos dispositivos do utilizador final da *IoT*, visa aumentar o poder de processamento dos dispositivos *IoT* de limitação de recursos e fornecer-lhes outros serviços, uma vez que se localiza perto desses dispositivos. Esta extensão foi também sugerida para aumentar o padrão das implementações do sistema *IoT*, diminuindo assim o consumo de energia e a latência para as aplicações que necessitam de respostas rápidas.

Por outro lado, a *Blockchain*, tem sido aplicada numa gama mais vasta de aplicações devido às características de segurança, privacidade, gestão de confiança distribuída, e fiabilidade fornecidas. Entre as aplicações, que têm sido recentemente atrativas em relação à *Blockchain*, encontra-se precisamente a *Fog Computing*. A *Blockchain* na *Fog computing* pode alcançar uma gestão de identidade distribuída e de confiança, dados seguros, reputação, e sistemas de pagamento.

Salientamos que os resultados elucidam a visão da *Blockchain* na *Fog computing* como a melhoria da segurança e da privacidade baseada no nevoeiro e chamam a atenção para os desafios abertos e as futuras direções de investigação.

Finalmente, como o nome indica, a *Edge Computing* ocorre exatamente na 'borda' da rede de aplicação. Em termos de topologia, isto significa que um 'computador de borda' está mesmo ao lado ou mesmo no topo dos pontos terminais (tais como controladores e sensores) ligados à rede. Os dados são então parciais ou totalmente processados e enviados para a nuvem para processamento ou armazenamento posterior. No entanto, a computação de borda pode levar a que grandes volumes de dados sejam transferidos diretamente para a nuvem. Isto pode afetar a capacidade, eficiência e segurança do sistema. A computação em nevoeiro resolve este problema inserindo uma camada de processamento entre a borda e a nuvem. Desta forma, o 'computador de nevoeiro' recebe os dados recolhidos na borda e processa-os antes de chegar à nuvem.

3.10 APLICAÇÃO DA *BLOCKCHAIN* NA INDÚSTRIA MARÍTIMA

Em termos gerais, a capacidade de reduzir a documentação comercial, custos de processamento, atrasos, manipulação de dados, fraude e erro humano através de "contratos inteligentes" intransponíveis torna a tecnologia da *Blockchain* atrativa para o mundo dos transportes marítimos.

Consequentemente, para a indústria marítima as características técnicas da *Blockchain* tornam-se relevantes para esta indústria. O Quadro 8 resume a relevância que essas características têm para a indústria marítima.

Quadro 8 – As características técnicas da *Blockchain* e a sua relevância para a indústria marítima (Xu, et al., 2016); (Berke, 2017); (Xu, et al., 2017).

Principais características	Relevância para a indústria marítima (Exemplos)
<u>Sistema Distribuído</u>	Construir uma plataforma transnacional de partilha de informação relacionada com a vigilância marítima e o comércio marítimo
<u>Imutabilidade</u>	Rastrear informação; Emissão de certificados digitais
<u>Transmissão Peer-to-peer</u>	Transferir conhecimentos de embarque; pagamento transfronteiriço direto
<u>Sem ponto único de falha</u>	Aumentar a ciber-segurança marítima
<u>Dados da série temporais</u>	Rastrear e localizar informações
<u>Visibilidade</u>	Fornecer informação de expedição em tempo real às partes envolvidas; melhorar a partilha de informação na indústria
<u>Anonimato</u>	Fornecer um canal anónimo garantido para denúncias
<u>Contratos inteligentes</u>	Ajustar automaticamente o prémio do seguro marítimo e liquidar automaticamente o pagamento

Assim, desde 2015, a aplicação da *Blockchain* na indústria marítima tem sido gradualmente desenvolvida e testada em diferentes processos da cadeia de valor, como se pode verificar no Quadro 9. As aplicações enquadram-se principalmente em quatro campos: (1) conhecimentos de embarque eletrónicos, (2) operações de navios, (3) seguros marítimos e (4) financiamento de navios.

Quadro 9 – Exemplos de casos típicos de utilização da *Blockchain* na indústria marítima (Lam & Zhang, 2019)

Áreas de Aplicação	Casos de uso específico	Companhias	Plataforma usada	Referências
Bills of Lading	Conhecimentos de Embarque electrónicos	Bolero	Voltron (based on Corda),	(Global Trade Review 2019)
		CargoX	Ethereum	(CargoX 2018)
		A.P.Møller-Maersk (TradeLens)	Hyperledger Fabric	(Maersk 2018)
		American President Lines (APL)	Corda	(Accenture 2018)
		Blue Water Shipping - Louis Dreyfus)	Ethereum (Quorum)	(CoinDesk 2018)
		Pacific International Lines (PIL)	Hyperledger Fabric	(Seatrade 2017)
Operações de navios	Redução de papelada	A.P.Møller-Maersk (TradeLens)	Hyperledger Fabric	(Maersk 2018)
		DNV GL Abu Dhabi Ports	Vechain Thor, Ethereum-like Ethereum	(Global Trade Review 2019) (Supply Chain 2020)
	Melhorar a partilha de informação	Kuehne + Nagel (Sharing container verified gross mass)	Hyperledger Fabric	(Ledgers insights 2018a)
	Informação Rastreio e localização	A.P. Møller-Maersk; Pacific International Lines; PSA International Pte Ltd	Hyperledger Fabric	(Seatrade 2018)
Seguros Marítimos	Subscrição, Reclamações, Redução de Fraudes	A.P. Møller-Maersk; Willis Towers Waston MS Amilin; XK Catlin; B3i Services AG; RiskStream Collaborative	Corda	(Seatrade 2018a) (B3i.Tech.2018) (Ledger Insights 2018b)
Financiamento de navios	Pagamentos Internacionais	Ripple Labs, Inc;	Ripple	(Caron 2018)
	Financiamento de navios (ICO)	Shipowners.io	Ethereum	(Splash247 2018)
	Depósitos de garantia	300cubits	Ethereum	(John 2017)

No caso da cadeia de fornecimento marítimo, a literatura existente sobre a aplicação de *Blockchain* reflete-se principalmente em quatro áreas: gestão digital, rastreabilidade de mercadorias, otimização de processos e contratos inteligentes.

(Kamble, Gunasekaran, & Sharma, 2020) e (Kshetri, 2018) utilizaram a tecnologia *Blockchain* para resolver o problema da rastreabilidade da cadeia de abastecimento marítimo. Alguns académicos também provaram a eficácia da utilização da tecnologia *Blockchain* no rastreio da origem dos produtos através de um programa piloto na indústria marítima (Behnke & Janssen, 2020). Ao mesmo tempo, a investigação de (Kshetri, 2018) apresentou provas iniciais que ligam a utilização da *Blockchain* nas atividades da cadeia de abastecimento para aumentar a transparência e a responsabilidade. (Howson, 2020) explorou a forma como a tecnologia *Blockchain* é alavancada para melhorar a conservação marinha e a gestão da cadeia de abastecimento global.

A tecnologia *Blockchain* também pode ser considerada na digitalização de documentos marítimos. A MAERSK e a IBM estão a cooperar na gestão de uma aplicação da *Blockchain* a contentores marítimos. Os testes iniciais desta tecnologia permitiram a redução dos custos administrativos devido à localização de contentores marítimos e à eliminação de documentos em papel de aproximadamente 15% do valor das mercadorias enviadas. A simulação de (Yoon, Talluri, Yildiz, & Sheu, 2020) e os resultados das análises numéricas mostram que a redução do *lead-time* (tempo decorrido desde que uma ordem de pedido é gerada para o fornecedor até que a mercadoria – desse fornecedor – é entregue ao cliente) e a diminuição do custo do transporte marítimo na *Blockchain* permitem à empresa exportadora aumentar o volume de mercadorias transportadas. Ativos, moeda e conhecimentos de embarque contratuais serão processados em formato digital nas transações da *Blockchain*, o que terá um impacto maciço nos processos empresariais. (Yang, 2019) apresentou uma digitalização baseada na cadeia de transporte marítimo e apontou direções de melhoria futura na tecnologia desta cadeia.

Relativamente aos contratos inteligentes, (Han, Zhang, Ping, & Yan, 2020) propuseram um contrato inteligente baseado na *Blockchain* e apresentaram uma estrutura universal para uma plataforma de *Blockchain* que alcança transações eficientes e eficazes através da participação de múltiplos jogadores. (Saber, Kouhizadeh, Sarkis, & Shen, 2019) conduziram uma investigação crítica sobre a tecnologia *Blockchain* e contratos inteligentes e elaboraram sobre as perspetivas de aplicação desta tecnologia na gestão da cadeia de fornecimento marítimo. Alguns académicos discutiram a utilização de contratos inteligentes e a sua influência nas transações operacionais e desenvolveram e implementaram estruturas da *Blockchain* públicas virtuais totalmente funcionais para armazenar, validar e manter transações (Jabbar & Dani, 2020). Embora a *Blockchain* seja adequada para lidar com os vários desafios enfrentados pelo

sistema da cadeia de abastecimento marítimo, existem ainda insuficiências na investigação sobre a implementação do funcionamento combinado da cadeia de abastecimento marítimo e da *Blockchain*.

Resumindo, as aplicações potenciais da tecnologia da *Blockchain* no setor marítimo incluem: seguimento e localização de carregamentos e cargas do princípio ao fim; partilha e transferência eletrónica de conhecimentos de embarque "inteligentes"; armazenamento e gestão de documentos, digitalização e descentralização da logística de embarque; declaração e manuseamento de mercadorias perigosas; pagamentos para serviços de embarque; ligação de partes interessadas para permitir a sua colaboração; proveniência do combustível; um sistema de créditos ou certificados de emissões; certificação; seguro marítimo; e registo de navios em classe. No Quadro 10 apresentamos a cronologia das aplicações da *Blockchain* na indústria marítima desde 2015.

Quadro 10 – Aplicações da blockchain na indústria marítima (Liu, Zhang, & Zhen, 2021)

DATA	ORGANIZAÇÃO	EVENTO
Junho 2015	Grupo HNA	Lançamento de um acordo financeiro marítimo de aviação e gestão de serviços de dados baseados na Plataforma <i>Blockchain - AirPay Insurance</i>
Novembro 2016	Rotterdam Port, ABN AMRO, Technische Universiteit Delft	Lançamento de uma plataforma <i>Blockchain</i> para aplicação de partilha de informação sobre contratos de logística
Agosto 2017	PSA, PIL e IBM	Assinam conjuntamente um memorando de entendimento para promover a rede comercial da cadeia de abastecimento baseada na tecnologia <i>Blockchain</i> .
Agosto 2017	K-LINE, MOL e NYK	Anunciam a formação de uma aliança para desenvolver uma plataforma de partilha de dados comerciais utilizando a tecnologia <i>blockchain</i>
Setembro 2017	Grupo HNA	Projeto de plataforma de gestão inteligente da operação de contentores
Setembro 2017	Ernst & Young e Guardtime	Anunciam a criação da primeira plataforma mundial de seguro marítimo baseada na <i>Blockchain</i> .
Novembro 2017	Star shipping, Sparx Logistics and Wave	Completar o projeto-piloto de um conhecimento de embarque sem papel com base na tecnologia <i>Blockchain</i>
Janeiro de 2018	Shanghai Customs, COSCO e SIPG	Assinar o desenvolvimento de uma grande plataforma de dados para a gestão do comércio transfronteiriço com base em tecnologia <i>Blockchain</i> .
Janeiro 2018	Maersk e IBM	Desenvolvem conjuntamente uma plataforma digital de comércio global baseada na <i>Blockchain</i> .
Agosto 2018	Maersk e IBM	Lançam a plataforma da indústria digital <i>TradeLens</i> com o objetivo de aplicar a tecnologia <i>Blockchain</i> a cadeia global de abastecimento marítimo.
Setembro 2018		MARINE X a primeira plataforma marítima da <i>Blockchain</i> na China continental, anuncia oficial estabelecimento
Novembro 2018	DP WORLD, PSA, SIPG, e COSCO	Acordo para criar uma aliança da <i>Blockchain</i> para a Global Shipping Business Network (GSBN)
Abril 2019	Maersk, MSC, Hapag-Lloyd e UMS	Anunciam oficialmente a criação da Digital Container Shipping Association DCSA
Junho 2019	Samsung SDS e ABN AMRO Bank	Desenvolver um projeto-piloto de logística baseado na <i>Blockchain</i> para acompanhar os envios de contentores da Coreia do Sul para os Países Baixos
Abril 2020	CargoSmart, COSCO, SIPG e Tesla	Completar a aplicação piloto de transformação digital do processo de libertação de carga existente, que é o primeiro lote de projetos-piloto de aplicação na indústria marítima a realizar cargas em tempo real e intercâmbio de dados entre transportadores marítimos e operadores de cais através da tecnologia <i>Blockchain</i> .

Junho 2020	China Merchants Port, Alibaba Group e Ant Financial Services Group	Assinar o "Acordo-Quadro Estratégico de Cooperação" para abrir a ligação completa do negócio portuário através da tecnologia <i>Ant blockchain</i> e para reconstruir o sistema de cooperação multipartidária de comércio portuário e logística
Junho 2020	China (Shanghai) & Pilot Zone Free Trade Zone	Implementar e promover ativamente a construção de um ecossistema partilhado de tecnologia de cadeias de bloqueio e transporte marítimo internacional.
Setembro de 2020	Blockshipping	A maior plataforma de contentores partilhada do mundo <i>GSCP</i>

4 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Para a elaboração desta dissertação optámos por uma abordagem hipotético-dedutiva. Segundo (Wilson, 2010), uma abordagem dedutiva preocupa-se em "(...) desenvolver uma hipótese (ou hipóteses) com base na teoria existente, e depois conceber uma estratégia de investigação para testar a hipótese".

Assim, este método estabelece hipóteses a partir da teoria que considera convincente, testando depois as suas implicações com dados/factos verificáveis. Ou seja, passa de um nível mais geral para um nível mais específico.

A abordagem dedutiva da investigação é aquela que normalmente se associa à investigação científica. O investigador estuda o que outros fizeram, avalia as teorias existentes sobre o fenómeno em estudo e depois formula hipóteses em termos operacionais, propondo relações entre duas variáveis/proposições específicas.

O método dedutivo envolve tradicionalmente um conjunto de etapas que são detalhadas na Figura 11.

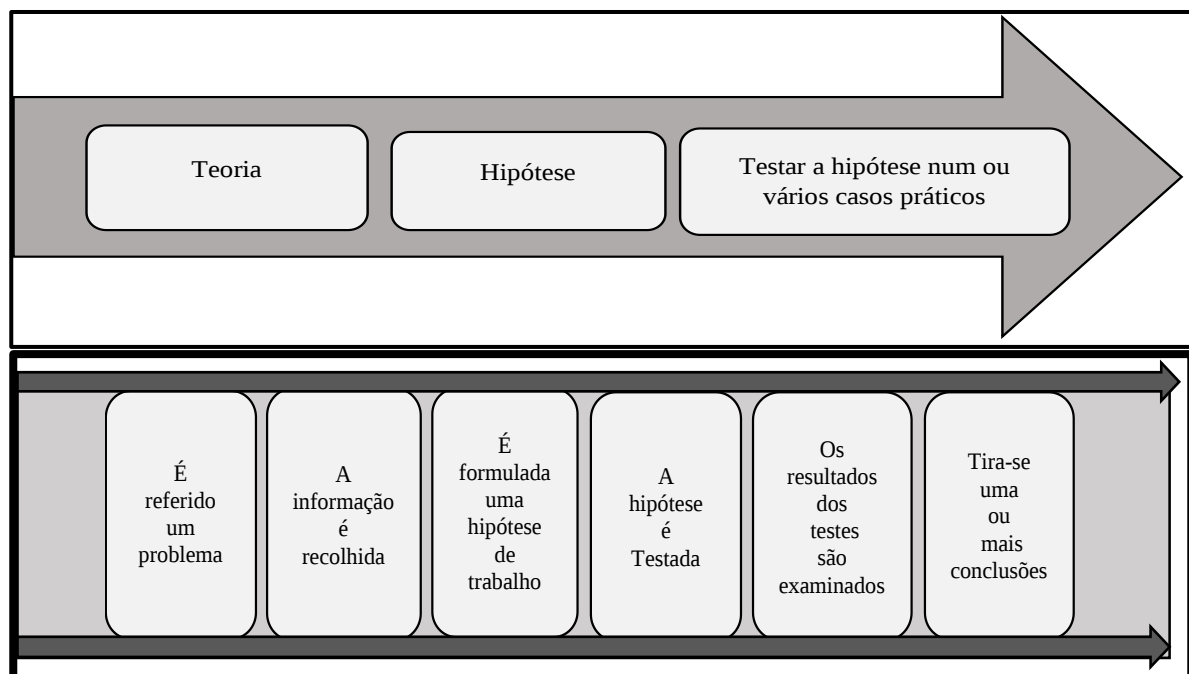


Figura 11 – Etapas do método dedutivo³²

³² <https://research-methodology.net/research-methods/data-collection>

Este método é normalmente considerado em oposição ao método indutivo. A comparação entre as duas abordagens pode ser resumida muito sucintamente como: a dedução começa com um padrão esperado "que é testado contra observações, enquanto a indução começa com observações e procura encontrar um padrão dentro delas" (Babbie, 2010). A abordagem dedutiva permite assim:

- Explicar as relações causais entre conceitos e variáveis;
- Medir os conceitos quantitativamente;
- Generalizar, até certo ponto, os resultados da investigação.

Escolhemos esta abordagem dedutiva, por ser um processo de análise de informação que nos leva a uma conclusão. Dessa maneira, usa-se a dedução para encontrar o resultado e, sendo o método dedutivo usado para testar as hipóteses já existentes, podemos provar teorias ou soluções existentes.

Assim, considerando algumas das aplicações da informação baseada na tecnologia *Blockchain* na indústria marítima, temos:

4.1 HIPÓTESE 1 | RASTREIO DA QUALIDADE DO COMBUSTÍVEL

As emissões poluentes da combustão de combustíveis no setor marítimo, incluindo óxidos de enxofre, óxidos de azoto e emissões de partículas, causam centenas de milhares de mortes prematuras anualmente, devido a doenças crónicas, incluindo doenças cardiopulmonares e cancro, bem como milhões de casos de asma e outras doenças respiratórias (Corbett & Winebrake, 2008); (Sofiev, et al., 2018). A investigação sugere que a redução do teor de enxofre do combustível utilizado nos navios oceânicos reduziria a mortalidade prematura em 34%-50% e a morbilidade em ~54% (Sofiev, et al., 2018). Os impactos negativos adicionais das emissões dos navios incluem acidificação de ambientes de água doce e salgada, poluição da água, danos à vida marinha e alterações climáticas (com todos os seus impactos nocivos concomitantes) (IPCC, 2014)³³.

³³ IPCC - Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas;
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar5_wgII_spm_en.pdf

4.1.1 Primeira Questão de Investigação e Formulação da Hipótese 1

As organizações internacionais de governação estão a estabelecer novos regulamentos para abordar estas emissões, criando incentivos para a sua redução. Em 2020, a IMO implementou normas de combustível limpo que limitam o teor de enxofre do combustível de bancas (combustível fornecido aos navios) a 0,5% (5.000 ppm), em comparação com o limite anterior de 3,5% (35.000 ppm). O cumprimento destas normas exigirá mudanças para combustíveis de baixo teor de enxofre, combustíveis alternativos, como o GNL, ou purificadores ³⁴ ; (Saul, 2019).

Podemos assim, formular a primeira questão de investigação (RQ1): Qual a viabilidade da aplicação da *Blockchain* no rastreio da qualidade do combustível?

Para responder à RQ1, colocamos a seguinte hipótese: Avaliar, se a nível global na Indústria Marítima, a tecnologia *Blockchain* é utilizada com sucesso em algum caso prático, relacionado com o rastreio da qualidade do combustível.

4.1.2 Teste à Hipótese 1

O MEPC (Comité de Proteção do Ambiente Marinho) da IMO desenvolveu uma estratégia inicial para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) provenientes do mar, uma vez que, e de acordo com descrito na secção 2.1, o transporte marítimo é responsável por aproximadamente 3% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂). A estratégia inicial será atualizada em 2023 e tem como objetivo reduzir as emissões de gases com efeito de estufa dos transportes marítimos em 50% em relação aos níveis de 2008 até ao ano de 2050 (IMO 2018). Uma parte deste esforço envolverá a transição para combustíveis "carbono zero", uma abordagem atualmente apoiada por vários *stakeholders* na indústria marítima (Saul, 2019).

A implementação, seguimento e aplicação da regulamentação destes requisitos representam desafios substanciais, uma vez que a IMO não tem autoridade de aplicação; a autoridade de controlo, seguimento e aplicação reside nos Estados de bandeira e nos Estados do porto (IMO, DCS regulation, 2019). A aplicação e o cumprimento são inconsistentes entre as nações, mesmo em países que estão empenhados em ratificar as regras e em fazer cumprir as normas relativas aos combustíveis. Existem muitas oportunidades para os navios não conformes passarem despercebidos – por exemplo, apenas uma pequena percentagem (entre 2-7%) da frota total de

³⁴ IMO - Data collection system for fuel oil consumption of ships

navios tendem a ser inspecionados no porto em muitos países³⁵. Além disso, as sanções legais por incumprimento também variam substancialmente entre estados.

Mesmo para as partes interessadas que desejam cumprir as normas do combustível, existem muitos desafios e limitações na recolha de dados existentes e nos processos de garantia relacionados com o consumo.

Os compradores de combustível, por exemplo, não têm acesso aos dados de garantia de qualidade relacionados com a informação a montante, como a produção e processamento de combustível (MacDonald, 2018)³⁶. A falta de documentação sobre a qualidade do combustível também representa um desafio relacionado com reclamações de seguros. Por exemplo, se os expedidores receberem combustível contaminado, as seguradoras não têm acesso aos dados para provar a conformidade ou para demonstrar que foi utilizado combustível contaminado (MacDonald, 2018). Estima-se que a "epidemia" de má qualidade do combustível de bancas, que começou na região da Costa do Golfo dos EUA (em particular Houston) em 2018, terá afetado centenas de navios e demonstrou a importância de verificar a qualidade e o conteúdo do combustível³⁷. Acresce que muitos navios que utilizam combustível de bancas com parâmetros fora de especificação perdem energia na rota, apresentando problemas de segurança e proteção consideráveis, especialmente quando os navios afetados estão localizados em rotas de navegação movimentadas ou em más condições climáticas.

A incapacidade ou dificuldade em tornar a parametrização do normativo vinculativa pode levar a uma diluição significativa dos benefícios ambientais e sanitários esperados com a introdução destas medidas.

Parte da incapacidade de rastrear e garantir a origem e qualidade do combustível deve-se ao processo de documentação existente na indústria das bancas (fornecimento de combustível aos navios) que utiliza notas de entrega baseadas em papel. Para além de deixar margem para fraudes sobre a qualidade e/ou quantidade de combustível transacionado por possíveis armadores, expedidores e afretadores, um sistema baseado em papel não permite às partes interessadas e aos intervenientes, tais como seguradoras e reguladores, o acesso a dados sobre a origem, cadeia de abastecimento e combustão do combustível.

³⁵ ABS 2020; <https://ww2.eagle.org/en/rules-and-resources/flag-port-state-information/inspections.html> (Acedido em 25/4/2022)

³⁶ <https://solve.mit.edu/> (Acedido em 25/4/2022)

³⁷ https://www.american-club.com/files/files/off-spec_fuel_oil_epidemic_preparing_for_beyond_2020.pdf

Os sistemas baseados na *Blockchain* podem oferecer uma oportunidade de maior e melhor rastreio das origens e qualidade do combustível, através do registo num Livro-Razão distribuído de informações e dados recolhidos ao longo da cadeia de abastecimento de combustível das bancas. Estes dados poderiam então ser acedidos pelas partes interessadas no processo de verificação do cumprimento dos regulamentos ou contratos de seguro.

Tal sistema de rastreio de combustível baseado em *Blockchain* foi inicialmente proposto em 2018 pelo consórcio entre o *Blockchain Labs for Open Collaboration (BLOC)* e o *Marine Blockchain Labs (MBL)*. Após a realização de projetos-piloto, o BLOC e os seus parceiros adaptaram e aperfeiçoaram o sistema que, a partir de finais de 2019, entrou em funcionamento sob o nome de *BunkerTrace*.

A versão MBL de um sistema de rastreio de combustível e rastreabilidade da origem baseado em *Blockchain* foi reconhecido pelo programa SOLVE³⁸, que é uma iniciativa do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, com a missão de impulsionar a inovação para resolver os desafios mundiais. SOLVE é um mercado para a inovação de impacto social. O SOLVE reúne o ecossistema de inovação do MIT e uma comunidade de Membros para financiar e apoiar estes empreendedores a fim de os ajudar a conduzir um impacto duradouro e transformacional. A *BunkerTrace*, sistema que faz a ponte física e digital para a rastreabilidade do ciclo de vida e relatórios fiáveis sobre o abastecimento sustentável de combustível aos navios, procurou rastrear a qualidade do combustível através da cadeia de abastecimento, incluindo a produção de combustível, fornecedores, transferência de combustível no terminal e combustão final. O sistema proposto pelo MBL envolvia também a "marcação e segurança" de dados para um determinado navio, para "ligar os dados físicos e digitais dos combustíveis marítimos" (MacDonald, SOLVE, 2018a).

Para a realização de ensaios-piloto iniciais no desenvolvimento do sistema, a *BLOC/MBL* estabeleceu uma parceria com vários intervenientes no setor marítimo, incluindo a Associação Internacional da Indústria de Bancas, a empresa de logística *Bostomar*, *GoodFuels* (produtora de biocombustíveis sustentáveis para a navegação), a associação marítima internacional BIMCO, a empresa de gestão de petroleiros *Heidmar*, a transportadora de carga seca *Precious Shipping* e a equipa de testes de combustível da *Lloyd's Register* – todos eles envolvidos em testes de simulação do protótipo. A *Lloyd's Register Foundation*, que patrocina a MBL,

³⁸ <https://solve.mit.edu/challenges/coastal-communities> (acedido 27/4/2022)

partilhou informações relacionadas com o fornecimento de combustível e processos relacionados com os testes de qualidade para as fases iniciais (MacDonald, 2018)³⁹

Em fevereiro de 2019, a *MBL* concluiu com êxito um projeto de demonstração, que traçou a produção, processamento, mistura e entrega de um lote de biocombustível ao navio *Frontier Sky* de 960 pés, para uma viagem de Roterdão ao leste do Canadá. O projeto de demonstração envolveu parceiros incluindo a companhia de navegação japonesa *NYK*, a *GoodFuels* (que forneceu biocombustível produzido a partir de resíduos florestais e resíduos de óleo de cozinha), e *Varo Energy*, que misturou o biocombustível com gasóleo marinho (Galluci, 2019). A *MBL* fez uso da plataforma baseada na *Blockchain Hyperledger Fabric* para o projecto de demonstração. Note-se que o *Hyperledger Fabric* não é considerado uma *Blockchain* em sentido estrito, uma vez que é privada e autorizada, carecendo de certos atributos da *Blockchain* pura – como o consenso descentralizado (Bunduchi, 2019); (Popejov, 2019).

A *BLOC* também realizou a digitalização da documentação na garantia de combustível (tal como o registo de aprovações e de *signoffs*). Contudo, existem limitações a este processo, derivadas da necessidade de um marcador físico no combustível para determinar se o combustível foi adulterado ou comprometido. A *BLOC* estabeleceu uma parceria com a *FTL*⁴⁰ (marcador de gene) para incorporar marcadores de ADN no seu sistema de forma a contornar esta limitação (*BunkerTrace* 2020)⁴¹.

O sistema *BunkerTrace*, para além da utilização de sistemas da *Blockchain* para documentação, envolve a utilização de etiquetas de DNA sintético, que funcionam como identificadores únicos (e quase ilimitados) ou "impressões digitais" no combustível marítimo, e que transportam informação relacionada com a qualidade e origem do mesmo. A *BunkerTrace* também utiliza moléculas altamente sensíveis, que podem indicar, em testes de um a três minutos a bordo, se o combustível tiver sido adulterado. Quando o combustível chega a uma embarcação, a tripulação pode testar rapidamente os marcadores *BunkerTrace* para verificar se o combustível que está a ser comprado é o descrito, em vez de confiar em testes de laboratório ou no *bunkering*

³⁹ <https://solve.mit.edu/challenges/coastal-communities/solutions/4920> (acedido 27/4/2022)

⁴⁰ FTL gene ferritin light chain

⁴¹ <https://bunkertrace.co/about> (acedido 25/4/2022)

sem estar confiante na qualidade ou origem do combustível⁴² (HellenicShippingNews, 2019)⁴³; (L.B.Hughes, 2019).

A *BunkerTrace* realizou com sucesso um ensaio piloto em outubro de 2019 na Holanda, em parceria com *Minerva*, *Boskalis* e Cooperativa *Bebeka*. O ensaio envolveu o rastreio e teste de combustível na draga *Prins der Nederlanden*, 900 metros cúbicos de combustível compatível com a norma ISO 8217:2010 (0,1% de enxofre) fornecido pela *Minerva*. A etiqueta de ADN foi inicialmente adicionada ao combustível utilizando uma bomba doseadora na linha de combustível como combustível carregado no batelão de bancas da *Minerva*.

Após verificar que a linha de combustível e os tanques recetores estavam vazios, e após o combustível ter sido abastecido, a tripulação da “*Prins der Nederlanden*” recolheu amostras do combustível a bordo utilizando um kit – um teste que alegadamente demorou menos de 2 minutos e detetou com sucesso os marcadores de ADN a 2 partes por bilião. As amostras do combustível foram então recolhidas para análise posterior⁴⁴ (HellenicShippingNews, 2019); (Wood, 2019);.

Em finais de janeiro de 2020, a *BunkerTrace* anunciou uma parceria comercial com a empresa *Marfin Management*, com sede no Mónaco, que utilizará a *BunkerTrace* para gerir o risco de combustível contaminado ser adquirido e utilizado nos seus navios de carga seca (PortNews,2020)⁴⁵

Embora a *BunkerTrace* esteja atualmente a concentrar-se no mercado comercial, é de esperar que o sistema seja também útil no cumprimento da regulamentação.

Assim, a *Blockchain* pode oferecer o potencial de recolher e armazenar dados sobre o tipo de combustível dos navios, eficiência e vários outros atributos ambientais, o que poderá permitir medir o progresso no sentido de objetivos de melhoria da eficiência e eficácia no controlo das bancas, bem como facilitar a aplicação de normas e regulamentos nestas áreas.

Os *Stakeholders* (tais como proprietários ou operadores de navios, fornecedores de combustível, operadores de terminais, operações de carregamento ou inspetores independentes), carregam depois os dados relevantes (por exemplo, resultados de testes de

⁴² https://bunkertrace.co/page/2/?page_id=614 (acedido 24/4/2022)

⁴³ <https://www.hellenicshippingnews.com/bunkertrace-cooperative-bebeka-boskalis-and-minerva-conclude-successful-trial-of-blockchain-and-dna-based-marine-fuels-tracking-solution/> (acedido 25/4/2022)

⁴⁴ <https://www.ajot.com/data/bunkerfuel> (acedido 25/4/2022)

⁴⁵ <https://en.portnews.ru/> (acedido 25/4/2022)

combustível) para publicar na *Blockchain*. A plataforma de *Blockchain* atualmente utilizada pela *BunkerTrace* é uma cadeia privada de *Ethereum*, embora tal como o sistema de garantia de combustível MBL, a *BunkerTrace* é "*Blockchain agnostic*" (pode funcionar com qualquer plataforma de *Blockchain*) e pode ser adaptada aos interesses dos clientes.

4.2 HIPÓTESE 2 | RASTREIO DA CARGA EMBARCADA

As transações no setor marítimo são geralmente lentas, demoradas e caras. A indústria naval depende fortemente das formas tradicionais de fazer negócios, incluindo a dependência de burocracia e documentação em papel, cuja utilização é recorrente em diferentes momentos da cadeia de abastecimento. Múltiplas partes não só manuseiam documentação, mas também mercadorias, frequentemente de forma redundante e desnecessária (Ytterström & Lenberg, 2019).

Nenhuma das partes e intermediários envolvidos nas transações e que incluem exportadores, importadores, autoridades e funcionários portuários e aduaneiros, financeiros, inspetores, avaliadores ou agentes tem acesso a dados e informações sobre todas as partes necessárias da cadeia de abastecimento. As transações que envolvem documentação em papel requerem frequentemente a inspeção física dos documentos, resultando em elevados custos de transação para as remessas e estima-se que 20% dos orçamentos operacionais se devam a uma gestão deficiente da informação (Czachorowski, Solesvik, & Kondratenko, 2019).

Uma alteração para aplicações sem papel poderá contribuir para uma redução dos custos das transações no setor marítimo.

O desejo de transações mais rápidas e racionalizadas e o rastreio dos envios irá provavelmente aumentar à medida que a indústria marítima lida e transporta volumes crescentes e que os diferentes clientes exigem informações melhores, mais precisas e atempadas (Ytterström & Lenberg, 2019).

4.2.1 Segunda Questão de Investigação e Formulação da Hipótese 2

Uma das preocupações com as transações de negócios como as habituais no setor marítimo é de segurança, especificamente no que diz respeito ao transporte, seguimento, e declaração de mercadorias perigosas. Os contentores marítimos não trazem frequentemente a indicação do seu conteúdo específico. Embora um código de produto possa ser digitalizado ou rastreado em alguns sistemas de dados, estes sistemas de dados raramente partilham ou inter-operam com os

sistemas de outras partes interessadas. Isto pode implicar um grave problema de segurança no caso de mercadorias perigosas (que constituem entre 5 a 10% da carga típica de um contentor)⁴⁶. A declaração incorreta da carga pode levar a perdas financeiras, danos ao navio, ferimentos e perdas de vida. O Sistema de Notificação de Incidentes com Carga (CINS) estima que quase um quarto dos incidentes graves a bordo dos porta-contentores se deveu a uma má declaração da carga⁴⁷.

A fraude é outro dos grandes problemas no transporte marítimo, e tanto os incidentes como os métodos de fraude têm aumentado num período recente. Exemplos de fraude no setor marítimo incluem: (i) falsificação de conhecimentos de embarque, incluindo subfaturação para evitar impostos; (ii) subornos e pagamentos ilícitos para obter contratos, influenciar inspeções ou permitir operações portuárias; e (iii) defraudar importadores ou exportadores com cartas de crédito adquiridas ilegalmente.

Estima-se que tais atividades fraudulentas aumentem o custo das operações de expedição em aproximadamente 10%, segundo o Fórum Económico Mundial (Di Gregorio, Nustad, & Constantiou, 2017). Por outro lado, há pouca responsabilização por ineficiência, fraude, ou roubo de carga (Botton, 2018).

Com base no exposto, podemos formular a segunda questão de investigação (RQ2): Existem ganhos resultantes da aplicação da *Blockchain* no rastreio da carga embarcada?

Para responder à RQ2, colocamos a seguinte hipótese: Avaliar, se na Indústria Marítima a nível global, a tecnologia *Blockchain* é utilizada com sucesso em algum caso prático, relacionado com o rastreio da carga embarcada.

4.2.2 Teste à Hipótese 2

A implementação do código de Gestão de Segurança Internacional (ISM) e os requisitos da Organização Internacional de Normas (ISO) relacionados com a gestão da qualidade complicaram a elaboração de relatórios e a gestão de documentos na indústria marítima. Fora dos requisitos de segurança e qualidade, os requisitos de documentação para exportações também incluem normalmente documentos relacionados com exportação, transporte, conformidade e certificados de origem, entre outros. Espera-se que estes requisitos

⁴⁶ https://unece.org/search_unece_content?keyword=dangerous+goods (acedido em 14/11/2021)

⁴⁷ <https://www.cleanerseas.com/> (acedido em 14/11/2021)

regulamentares, e as necessidades associadas para um melhor acompanhamento, se tornem mais rigorosos ao longo do tempo, em resposta à repartição dos acordos comerciais entre grandes potências económicas, aumentando ainda mais a complexidade das transações e a documentação necessária (Di Gregorio, Nustad, & Constantiou, 2017).

Outro desenvolvimento mais específico é a utilização crescente (e o desejo de assegurar e verificar) a refrigeração no transporte marítimo. Muitos produtos, desde alimentos a produtos farmacêuticos, requerem condições climáticas ou de temperatura controlada para garantir a segurança ou eficácia do produto (Sykes, 2018). De acordo com a Organização Mundial de Saúde, 40% das vacinas degradam-se devido às variações de temperatura durante o transporte. A indústria farmacêutica gastou 13,4 mil milhões de dólares no transporte de produtos sensíveis à temperatura considerada adequada em 2017. Estima-se que este custo aumente para cerca de 75% das cargas úteis farmacêuticas enviadas por frete marítimo dentro de dez anos (Muspratt, 2018).

A disponibilidade e utilização de análise de dados na indústria naval está a aumentar, e espera-se que aumente ainda mais num futuro próximo (Ytterström & Lenberg, 2019). Por exemplo, prevê-se que a *IoT* desempenhe um papel crescente no setor marítimo, permitindo a localização de ativos, a otimização de rotas, e uma diminuição dos custos de manutenção (Di Gregorio, Nustad, & Constantiou, 2017). A aplicação atual da *IoT* na indústria marítima inclui a marcação GPS de contentores para facilitar o movimento através de nós de trânsito e permitir o seguimento em tempo real de cargas e navios (Czachorowski, Solesvik, & Kondratenko, 2019). No caso de transporte marítimo com temperatura controlada, a localização de bens com *IoT* poderia envolver a utilização de sensores nos contentores, uma unidade de processamento, e um transmissor que permitiria a monitorização da temperatura em tempo real, o que por sua vez poderia permitir uma resposta ou gestão imediata no caso da temperatura se aproximar dos limiares designados (Di Gregorio, Nustad, & Constantiou, 2017).

O rastreio digital das remessas desde a origem até ao destino tem o potencial de reduzir os custos de transação, rastrear substâncias perigosas ou outras mercadorias perigosas, reduzir as oportunidades de fraude e roubo, e avaliar as condições de transporte das mercadorias sensíveis ao clima ou à temperatura. Tendo em conta os objetivos da indústria marítima e das partes interessadas de minimizar os impactos ambientais negativos, e garantir a segurança e eficiência das operações marítimas, existem incentivos a um acompanhamento das remessas através da digitalização da documentação e do seguimento de bens e remessas no setor marítimo. No

entanto, existem riscos e preocupações de segurança associados à mudança para a digitalização da informação, que tradicionalmente tem sido baseada em papel.

Tal como descrito por (Winebrake, Carr, & Green, 2019)), a cibersegurança é uma preocupação crescente no setor marítimo, dados os impactos potenciais em áreas críticas da movimentação e gestão de cargas; assistência e gestão de passageiros; bem-estar da tripulação e administração; gestão e controlo de maquinaria e energia; sistemas de controlo de acesso; e sistemas de comunicação, entre outros. Os erros intencionais (por exemplo, ciberataques), ou erros não intencionais, tais como perda ou corrupção de dados, têm o potencial de resultar em falhas operacionais, de segurança ou de proteção, ou em falhas na proteção do ambiente marinho (IMO 2017). Foram identificadas preocupações de segurança potencialmente graves em várias áreas da tecnologia de comunicação utilizada no setor marítimo. Por exemplo, demonstrações têm provado que os navios podem ser pirateados e navegados remotamente através da tomada do sistema GPS do navio; os bloqueadores de sinal podem interferir com vários sistemas de bordo utilizados para comunicação e navegação; e, os sistemas portuários e de carga podem ser pirateados, com rastros de dados apagados (DiRenzo, Goward, & Roberts, 2015). A indústria marítima enfrenta cada vez mais ameaças de cibersegurança, tais como o ataque de "NotPetya ransomware" que afetou MAERSK em 2017, e que se estima que tenha implicado um custo de \$200 milhões para a companhia de navegação (Di Gregorio, Nustad, & Constantiou, 2017).

Há também muitas preocupações e desafios em torno da utilização específica da *IoT*. Os utilizadores do sistema devem confiar que os dados recebidos a partir de dispositivos *IoT* não tenham sido alterados. Os dispositivos *IoT* têm um poder computacional relativamente limitado com a conectividade à Internet (frequentemente *wireless*), e o seu *firmware* não é normalmente atualizado com frequência, tornando-os vulneráveis a ataques cibernéticos.

Dezanove categorias distintas de questões de segurança associadas à Internet sem fios foram destacadas num artigo de revisão de 2018; estas incluíam o empastelamento, (forma violenta de interromper a internet), ataques de *Sybil* e *spoofing*, ataques de sumidouros e *wormhole*, violações de privacidade, e interfaces inseguras, *software* ou *firmware* (Khan & Salah, 2018).

A *Blockchain* apresenta uma forma de digitalizar a documentação no setor marítimo, abordando assim algumas das preocupações de segurança em torno da utilização da *IoT* e da digitalização de documentação, ajudando na localização das remessas desde a origem até ao destino, e registando os dados relevantes num formato transparente, mas seguro e de confiança, acessível

a todas as partes relevantes. A *Blockchain* é complementar com as tecnologias da *IoT* no seu potencial para melhorar a segurança e providenciar o armazenamento dos dados recolhidos a partir de utilizações da *IoT*. A *Blockchain* não é uma tecnologia de sensores, monitorização, gestão, ou recolha de dados – estes são todos os aspetos da utilização da *IoT* e dos sistemas de recolha de dados associados. A *Blockchain* pode, contudo, permitir a documentação e armazenamento de dados registados num Livro-Razão, e também tem o potencial (em conjunto com oráculos⁴⁸) de permitir a utilização de contratos inteligentes na gestão de dispositivos em tempo real (Di Gregorio, Nustad, & Constantiou, 2017).

A *Blockchain* poderia eliminar a necessidade de um corretor ou autoridade centralizada, servindo como câmara de compensação autónoma quando devidamente integrada com dispositivos *IoT*. A implementação da *Blockchain* pode facilitar igualmente a troca de informações entre as partes envolvidas no processo. Isto pode ser conseguido através do armazenamento da informação sobre a carga no Livro-Razão.

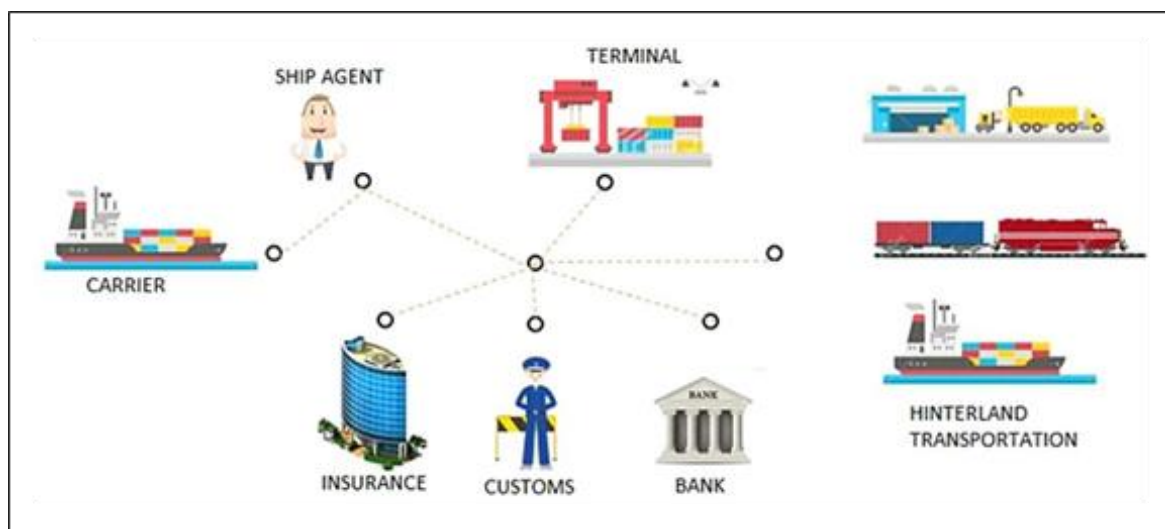


Figura 12 – Fluxo de informação atual no processo de importação
(Weernink, van den Engh, Fransisconi, & Thorborg, 2017)

⁴⁸ Os oráculos são uma das ferramentas que a tecnologia *Blockchain* usa para interagir com o mundo físico. Daí a sua enorme utilidade e potencial, pois eles permitem criar uma ponte entre o mundo criptográfico e o físico para criar utilitários que tiram o máximo proveito da tecnologia *blockchain* e tudo o que ela oferece.

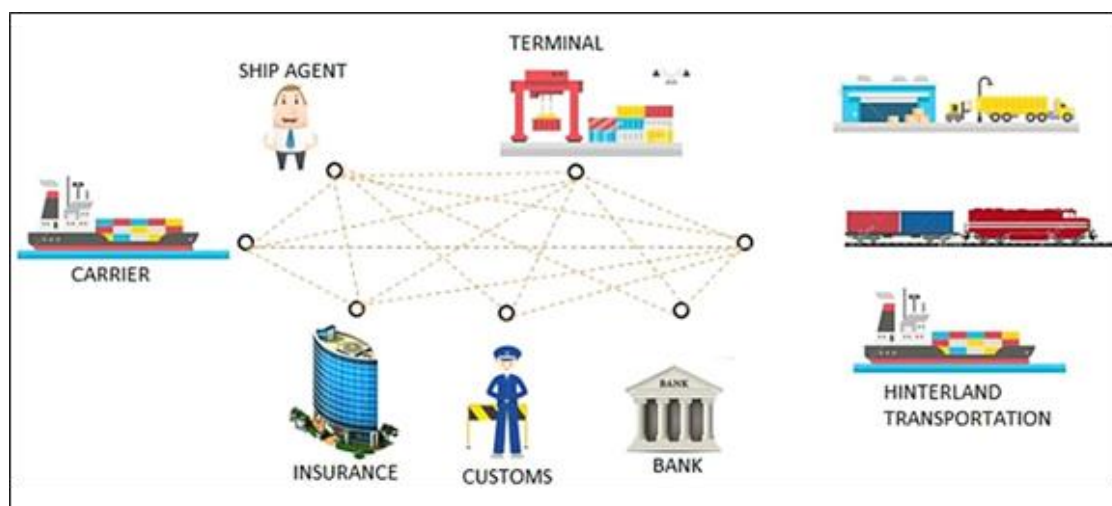


Figura 13 – Fluxo de informação na Blockchain no processo de importação
(Weernink, van den Engh, Fransisconi, & Thorborg, 2017)

Na Figura 12 e na Figura 13 mostramos o fluxo de informação atual e a sua transformação por aplicação da tecnologia *Blockchain* no processo de importação, respetivamente (Weernink, van den Engh, Fransisconi, & Thorborg, 2017).

No setor marítimo, a aplicação da *Blockchain* (e de contratos inteligentes) para o seguimento de envios poderia ser baseada num programa informático que considerasse todas as partes envolvidas (exportadores, autoridades e funcionários de exportação e portuárias, importadores, financiadores, inspetores e avaliadores). Por exemplo, vários documentos ou dados poderiam ser carregados para uma *Blockchain*, permitindo às partes negociar diretamente na rede sem terceiros. Assim que os documentos fossem aprovados e assinados pelas partes, um programa validaria essa transação e passaria à fase seguinte da transação. Finalmente, o contrato seria automaticamente executado por consenso da rede, e a informação relevante seria carregada para todas as partes interessadas (Green, Carr, Winebrake, & Corbett, 2020). Toda a informação relevante sobre o carregamento poderia ser armazenada num "bloco" e gerida pela *Blockchain*, evitando assim a necessidade de intermediários registarem, seguirem e certificarem informação (Botton, 2018).

A possibilidade de ter toda esta informação num lugar acessível a todas as partes relevantes, baixaria os custos de transação, bem como reduziria os custos de auditoria e contabilidade (Botton, 2018). A *Blockchain* também foi concebida para permitir o rastreio automático da transferência de propriedade de uma remessa em segundos após a sua venda (Ytterström & Lenberg, 2019).

No caso de conformidade na documentação e relatórios para códigos e normas, a *Blockchain* tem o potencial de reduzir os encargos administrativos, permitindo a racionalização, digitalização e automatização de certos documentos e requisitos de relatórios através da utilização de contratos inteligentes por agentes relevantes na indústria naval (Di Gregorio, Nustad, & Constantiou, 2017).

Por outro lado, a tecnologia *Blockchain* também pode facilitar o rastreio e a documentação das condições de temperatura controlada no transporte marítimo. Foram desenvolvidos contentores de transporte em cadeia que regulam a temperatura e podem ser úteis no rastreio do transporte de mercadorias sensíveis à temperatura, tais como alimentos e produtos farmacêuticos (Hampstead, 2018). Alguns contentores utilizados no transporte aéreo, por exemplo, incluem sensores para monitorizar a temperatura e a localização, entre outras variáveis. O registo "em cadeia" utilizado com estes contentores regista documentos tais como conhecimentos de embarque e formulários aduaneiros (Hampstead, 2018).

Tal como descrito por (Jugović, Bukša, Dragoslavić, & Sopta, 2019), os potenciais benefícios para os intervenientes da *Blockchain* no seguimento e localização de envios incluiriam, por exemplo:

- a) Transportadores: reduzindo o tempo de espera e o tempo de recarga, permitindo a troca de informação – como a confirmação da chegada do navio em tempo real; reduzindo perdas, atrasos e ineficiências no caso de informação imprecisa, onde o correio eletrónico é tipicamente utilizado para comunicações; e proporcionando um lugar-comum para a informação através da cadeia de fornecimento.
- b) Operadores de Navios: facilitando a comunicação *online* para reduzir custos; permitindo a troca de informações mais detalhadas sobre os envios em tempo real, fornecendo uma *interface* padronizada e permitindo que os compradores utilizem o sistema para rastrear eventos de forma independente no seu sistema.
- c) Brokers: fornecendo uma área padronizada para recolha de dados de numerosas fontes; permitindo uma maior visibilidade e economia de tempo na correção de erros burocráticos, desenvolvendo uma pista de auditoria segura ligando documentos originais com declarações aduaneiras.
- d) Terminais: reduzindo os custos de tempo de estadia, e racionalizando a comunicação entre linhas de navegação e portos, fornecendo uma plataforma padrão.

e) Empresas de seguros: assegurando a coerência dos dados, com todos os interessados a receberem a mesma versão dos dados-chave. Os dados estão permanentemente disponíveis, permitindo uma melhor recolha de informação, análise de tendências, e avaliação dos riscos.

f) Reguladores: a obtenção de uma informação mais completa e atempada permitirá melhor orientação e decisões sobre quais os contentores a verificar. Redução da burocracia e aumento da automatização, permitirá aos reguladores mudar o foco para outras atividades-chave, tais como o controlo e fiscalização das Convenções SOLAS, MARPOL e ISPS.

Há uma série de iniciativas que procuram utilizar a *Blockchain* no rastreio de envios ao longo de uma cadeia de abastecimento, incluindo as que se referem ao rastreio geral, ao rastreio de mercadorias perigosas e ao rastreio da cadeia de frio, entre outras (Green, Carr, Winebrake, & Corbett, 2020).

Os projetos incluem os iniciados por armadores, operadores da cadeia de abastecimento, fornecedores de informação e comunicação (TIC) e projetos de consórcios dedicados. Como descrito por (Wagner & Wiśnicki, 2019), os projetos iniciados pelos armadores – tais como *TradeLens*, uma parceria *MAERSK-IBM* e a *Global Shipping Business Network (GSBN)* – visam desenvolver ferramentas universais para o transporte global de contentores; mais participantes e partes interessadas são convidados a aderir à medida que a plataforma se desenvolve e expande. Os projetos iniciados por fornecedores de *TIC* – como *CargoX* – têm o objetivo de fornecer uma plataforma neutra que não é controlada por nenhuma entidade que utilize o sistema. Os projetos dos operadores da cadeia de abastecimento são iniciados por partes interessadas envolvidas na logística marítima, tais como portos e operadores intermodais. Os projetos de consórcios dedicados são frequentemente iniciados por instituições governamentais ou de investigação, criadores de tecnologia digital ou outras e visam testar soluções num contexto específico; os armadores, embora não sejam muitas vezes os iniciadores destes esforços, desempenham um papel fundamental na prova de conceito (Wagner & Wiśnicki, 2019).

TradeLens, uma parceria entre a *IBM* e a *MAERSK* é talvez a iniciativa mais conhecida que envolve tecnologia baseada em *Blockchain* no setor marítimo (14). Esta parceria procura aumentar a transparência na cadeia de fornecimento de transporte marítimo, rastreando as remessas desde a origem até ao destino (O-to-D) com estatuto visível para todos os participantes na rede – incluindo as partes interessadas, tais como armadores, corretores, fornecedores de

transporte terrestre, agências aduaneiras, reguladores portuários, e companhias de seguros. Lançado em 2018, o ecossistema *TradeLens* inclui agora integrações diretas com mais de 300 organizações – estendendo-se a mais de 10 transportadores marítimos e englobando dados de mais de 600 portos e terminais. Já rastreou mais de 42 milhões de carregamentos de contentores, cerca de 2,2 mil milhões de eventos e cerca de 20 milhões de documentos publicados (TradeLens, 2022)⁴⁹.

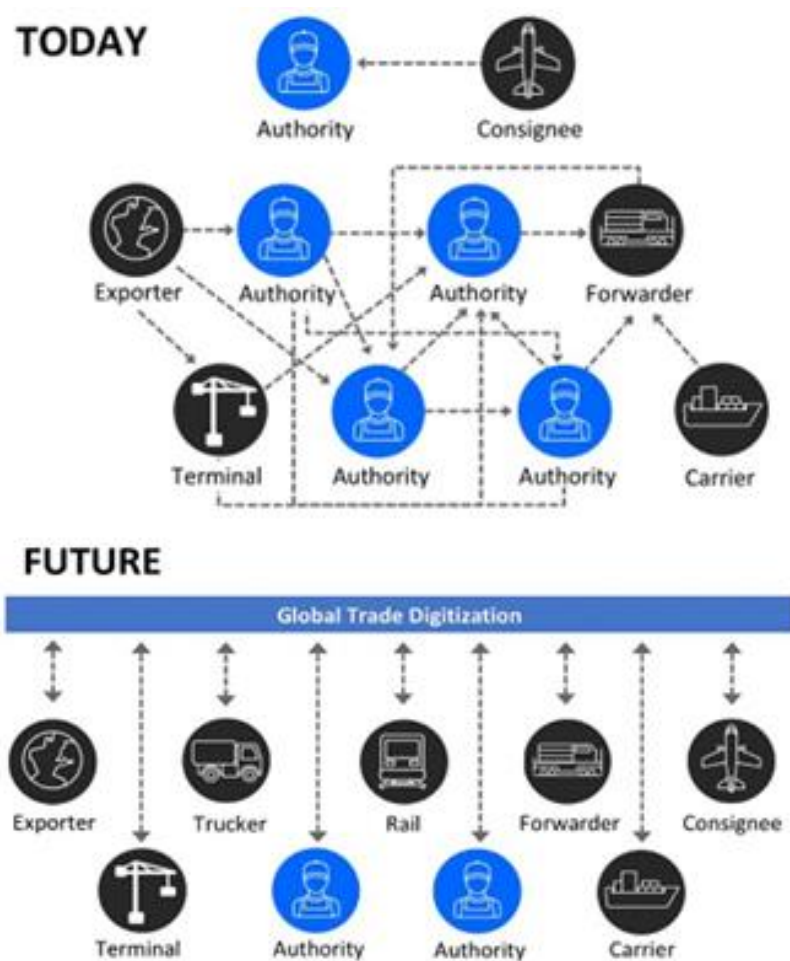


Figura 14 – Solução Maersk e IBM Blockchain para a digitalização do comércio global (IBM- Blockchain, 2018)

O sistema *TradeLens* regista transações e rastreia bens tais como contentores. Os documentos podem ser digitalizados e assinados eletronicamente. Mais de uma centena de tipos de eventos podem ser rastreados e registados, incluindo o início do rastreio de consignação, o carregamento

⁴⁹ <https://www.tradelens.com> (acedido em 25/4/2022)

planeado no navio, as horas planeadas, estimadas e reais de partida e chegada do navio, a apresentação de mercadorias perigosas, a embalagem do contentor, e se o contentor embalado é selecionado para inspeção. Alguns pontos de dados são obrigatórios para todas as remessas, enquanto outros são opcionais, dependendo da natureza da remessa e das partes envolvidas⁵⁰. Dado que a partilha de informação entre empresas pode levantar preocupações de violações da lei *antitrust*, certas informações (tais como capacidade de navios, termos contratuais, ou taxas de serviço) não estavam autorizadas a ser partilhadas entre os interessados no *TradeLens*. Contudo, a seis de fevereiro de 2020, este consórcio de navegação baseado na *Blockchain*, recebeu uma importante isenção *antitrust* da Comissão Marítima Federal dos Estados Unidos da América. A isenção permite que cinco grandes companhias de transporte marítimo por linha de contentores no âmbito deste consórcio cooperem no fornecimento de dados para utilização na plataforma *TradeLens*. Este Acordo permite que as várias partes da linha de contentores signatárias troquem informações relacionadas com eventos da cadeia de abastecimento e colaborem no desenvolvimento da plataforma sem receio de exposição *antitrust* ao abrigo da lei federal (*THE TRADELENS AGREEMENT-A Cooperative Working Agreement*)⁵¹.

Há uma série de iniciativas adicionais envolvendo o rastreio e a localização de carregamentos no setor marítimo, incluindo esforços para rastrear e localizar especificamente mercadorias perigosas – tais como BLOC, Lloyd's Register Foundation e um projeto do consórcio *Rainmaking* para lidar com a declaração incorreta de mercadorias perigosas – e esforços para rastrear, localizar e documentar condições controladas pelo clima (por exemplo, BLOC e *ShipChain*). Estes sistemas, que envolvem a utilização da tecnologia *IoT*, podem identificar e documentar, por exemplo, se um contentor foi aberto, ou se a sua temperatura reduziu (ou excedeu) um determinado limiar de temperatura, e durante quanto tempo. Se um contentor tiver sido aberto, ou se a sua temperatura tiver ultrapassado os limites designados, os operadores podem ser alertados, e o incidente pode ser documentado em *Blockchain* (Hampstead, 2018).

A maioria dos sistemas da *Blockchain* utilizados no seguimento e localização de envios no setor marítimo utilizam (ou planeiam utilizar) um sistema privado, baseado em *Blockchain* autorizado. Alguns sistemas, no entanto, utilizam a *Blockchain* pública sem permissão, como o *ShipChain*, que trabalha com atores ao longo de toda a cadeia de abastecimento (por exemplo,

⁵⁰ <https://supplychaindigital.com/> (acedido em 25/4/2022)

⁵¹ <https://www.natlawreview.com/nlr-legal-analysis-and-news-database-search?qnlr=tradelens#gsc.tab=0&gsc.q=tradelens&gsc.page=1> (acedido em 25/04/2022)

camiónes), e utiliza o *Ethereum* para determinadas transações, e o *Ethereum* privado para outros dados e transações ⁵².

A *Blockchain* não é a única oportunidade para a digitalização da cadeia de abastecimento e o seguimento e rastreio dos carregamentos, contudo, é neste momento a mais reconhecida. Como atestado por especialistas da indústria naval num estudo recente, a digitalização em geral poderia reduzir a necessidade de documentação na expedição e reduzir os custos de transação em conformidade (Ytterström & Lenberg, 2019). Do mesmo modo, a digitalização tem o potencial de facilitar a localização de mercadorias perigosas, ou de reduzir as oportunidades de fraude e roubo.

4.3 HIPÓTESE 3 | CONHECIMENTO DE EMBARQUE ELETRÓNICO - E/BL

Um conhecimento de embarque (*B/L*) é um contrato de transporte que serve como documento de propriedade e recibo e é exigido pelo Direito Marítimo. O *B/L* (*Bill of Lading*) é um dos documentos mais importantes e amplamente utilizados no transporte marítimo, servindo três funções: (1) prova de um contrato entre o expedidor e o transportador; (2) recibo de serviços de frete e mercadorias; e, (3) documento de título, ou propriedade, de mercadorias. Pormenorizando, os conhecimentos de embarque incluem nomes do expedidor, destinatário e transportador, navio, porto de carga e porto de descarga, lista discriminada de mercadorias (incluindo número de pacotes e tipo de embalagem), peso e/ou volume, classe de mercadorias, condições de pagamento, instruções especiais de manuseamento e taxa e montante de frete (Vasconcelos, 1988).

O *B/L* dá essencialmente a propriedade (ou título) das mercadorias à pessoa que o detém. Os conhecimentos de embarque são tradicionalmente documentos em papel, e a transferência de bens de uma parte de outra requer a posse física do *B/L* (Vasconcelos, 1988). O *B/L* deve estar na posse física para reclamar a mercadoria no porto. No entanto, os conhecimentos de embarque são frequentemente atrasados devido aos bancos e outros intermediários, e podem levar mais de uma semana a chegar, o que significa que a carga pode chegar aos portos antes do *B/L*, acrescentando às ineficiências do sistema e ao aumento dos custos à medida que a carga espera nos portos (Czachorowski, Solesvik, & Kondratenko, 2019).

⁵² <https://shipchain.io/> (acedido em 9/5/2022)

Outra razão pela qual os conhecimentos de embarque podem demorar tanto tempo a chegar é que são transportados por serviços de entrega por correio (tais como *FedEx* ou *UPS*), e normalmente viajam por correio pelo menos três vezes – uma do emissor para o expedidor, outra do expedidor para o consignatário ou banco e outra do consignatário para um agente de liberação de carga, por um tempo médio total de remessa de cinco a dez dias. O transporte de documentos em papel B/L requer não só tempo, mas também energia e gera emissões associadas de poluentes e gases com efeito de estufa. Os conhecimentos de embarque exigem recursos para produzir, com uma fonte governamental⁵³ a estimar que 400.000 árvores são cortadas anualmente para produzir os muitos milhões de conhecimentos de embarque emitidos anualmente; um emissor de conhecimentos de embarque, que representa 2% da quota de mercado, imprime anualmente mais de 4 milhões de folhas de papel (CargoX, 2018).

Existem também recursos financeiros significativos envolvidos na emissão e transporte de conhecimentos de embarque, com um custo estimado de até \$100 só para serviços de correio, ou um custo total de até \$180 por B/L. As despesas totais anuais agregadas de transporte e impressão de conhecimentos de embarque estão estimadas em cerca de \$7 mil milhões (CargoX, 2018).

Finalmente, a fraude é também uma preocupação para os conhecimentos de embarque. Os meios de falsificação são vastos e incluem assinaturas falsas, descrições erradas da carga e a utilização de estacionário corporativo falsificado, por exemplo, pela incorporação de logótipos corporativos em documentos falsos (Czachorowski, Solesvik, & Kondratenko, 2019); (CargoX, 2018).

4.3.1 Terceira Questão de Investigação e Formulação da Hipótese 3

Em resposta às preocupações acima referidas foram feitos esforços para melhorar o sistema B/L tradicional. As cartas de porte marítimo, por exemplo, são documentos que permitem a transferência da posse sem que seja necessário um documento físico. Cartas de Indemnização também podem ser apresentadas em troca da carga, no caso de a mesma chegar ao porto antes do conhecimento de embarque.

Verifica-se que estão também a ser feitos esforços para substituir os conhecimentos de embarque em papel por formulários digitais, tais como o Telex B/L ou os conhecimentos de

⁵³ <https://www.maritime.dot.gov/>

embarque eletrónicos (eB/L). Os conhecimentos de embarque eletrónicos são o equivalente legal de um conhecimento de embarque em papel, e funcionam como um recibo, prova de contrato de transporte, ou documento de título.

Podemos assim, formular a terceira questão de investigação (RQ3): Poderá a *Blockchain* validar os conhecimentos de embarque eletrónicos- e/BL?

Para responder à RQ3, colocamos a seguinte hipótese: Avaliar, se a nível global na Indústria Marítima, a tecnologia *Blockchain* é utilizada com sucesso em algum caso prático, relacionado com a validação dos conhecimentos de embarque inteligentes.

4.3.2 Teste à Hipótese 3

A *Blockchain* foi concebida como uma solução para enfrentar muitos dos desafios associados aos conhecimentos de embarque em papel ou eletrónicos, permitindo uma plataforma descentralizada, rastreável e imutável para documentar os conhecimentos de embarque, e torná-los acessíveis às partes relevantes.

Para além disso, a *Blockchain* pode abordar a questão da confidencialidade, uma vez que a informação pode ser assegurada por criptografia unidirecional, que apenas permite a descriptação por um destinatário específico.

Duas iniciativas nesta área – *CargoX* e *TradeLens* – realçam as configurações potenciais de tal aplicação.

A *CargoX*, um projeto financiado por várias empresas do setor que começou em janeiro de 2018, criou uma plataforma baseada em *Blockchain* para a partilha de conhecimentos de embarque inteligentes (Figura 15).

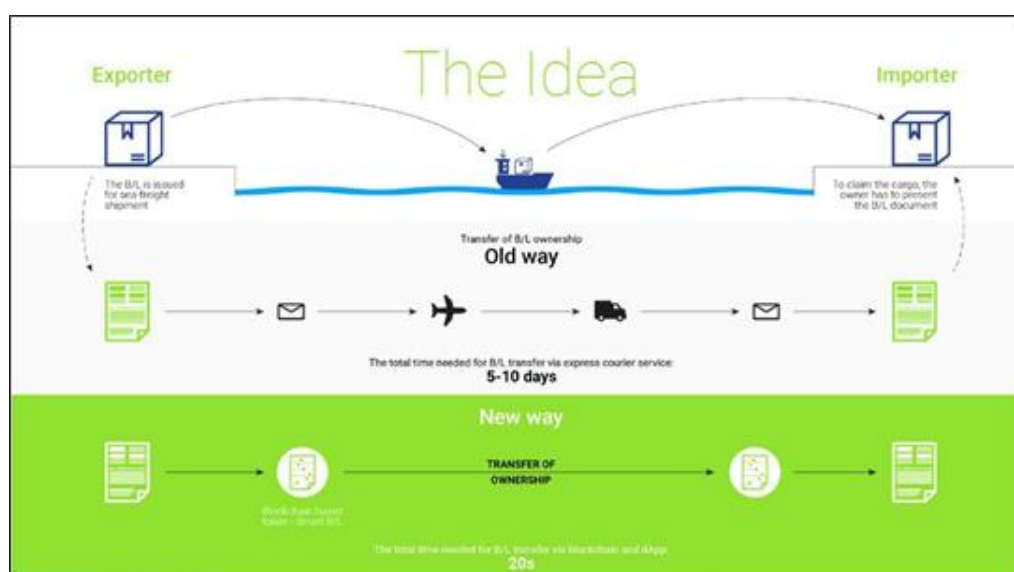


Figura 15 – Comparação entre a solução em papel e a solução digital *CargoX*⁵⁴

CargoX é "*Blockchain agnostic*", o que significa que o sistema pode ser compatível com qualquer plataforma *Blockchain*, mas é atualmente baseado na plataforma pública *Ethereum*, sem permissão. O sistema é sem papel e é relatado para reduzir o tempo de transferência de vários dias para minutos ou segundos. Para além de melhorar a velocidade de transferência de transações, prevê-se também que o *B/L* sem papel reduza os custos de transporte, elimine as emissões dos serviços de correio para transportar os conhecimentos de embarque tradicionais, e reduza as hipóteses de perda, roubo, ou danos no *B/L*.

O primeiro contentor processado utilizando a tecnologia *CargoX* foi expedido de Xangai, China e lançado no Porto de Koper, Eslovénia, em agosto de 2018; o conhecimento de embarque foi emitido e transferido eletronicamente "em poucos minutos, em vez de dias ou semanas" ⁵⁵. O conhecimento de embarque eletrónico custou \$15, aproximadamente 15% do custo típico estimado para um documento a ser entregue a longa distância utilizando serviços de correio.

O sistema *CargoX* transforma o conhecimento de embarque num registo de transferência incluído num sistema *Blockchain*, nomeado de *fichas Smart B/L*. Como descrito no documento

⁵⁴ https://www.researchgate.net/figure/Comparison-between-paper-solution-and-CargoX-digital-solution-From-the-Past-to-the_fig2_338070848

⁵⁵ <https://www.marineinsight.com/shipping-news/cargox-provides-free-blockchain-bill-of-lading-to-companies-during-coronavirus-crisis/> (acedido em 15/05/2022)

(CargoX, 2018) *Blue Paper*, a *CargoX Smart B/L* funciona da seguinte forma: "Na origem, o transportador utiliza a nossa [aplicação] para criar um *Smart B/L* assistido em cadeia... Após o exportador pagar os custos de envio, o transportador envia o *Smart B/L* para o endereço do exportador.... Depois de receber o dinheiro para as mercadorias do importador, o exportador transfere a propriedade do *Smart B/L* para o importador, utilizando a nossa [aplicação]". O importador pode reclamar a propriedade da mercadoria no porto de destino, apresentando a ficha *Smart B/L* ao transportador ou [outra entidade relevante] no destino, utilizando a nossa [aplicação]... No destino o transportador liberta os bens para o importador assim que o importador provar a propriedade da ficha *Smart B/L*" (CargoX, 2018).

Procurando minimizar as preocupações de segurança, os contratos inteligentes *CargoX* são examinados por auditores externos e as partes interessadas (potenciais participantes) podem também ter o sistema auditado pela sua equipa ou por profissionais de auditoria externa. *CargoX* também utiliza um programa de *bug bounty*⁵⁶ onde investigadores e "*hackers* de chapéu branco" (*hacker de segurança com ética*) são convidados a inspecionar o código *CargoX* e identificar pontos fracos (CargoX, 2018).

Por seu turno, o *TradeLens*, utiliza um sistema baseado em *Blockchain*, que permite o processamento ou fluxos documentais acionáveis de *Sea Waybills/Bills of Lading*. Os benefícios dos fluxos documentais acionáveis, de acordo com *TradeLens*, incluem: transmissão simplificada de instruções de embarque; gestão de estados e versões de documentos; submissão mais rápida de instruções de embarque à criação do conhecimento de embarque final; partilha de documentos com todas as partes autorizadas; e, imutabilidade, rastreabilidade, e auditabilidade de documentos.

Este sistema permitirá ao expedidor, transportador, e quaisquer outras partes relevantes e autorizadas ver a alocação, equipamento de transporte e documentos, como as permissões definidas⁵⁷. A *TradeLens* utiliza um sistema privado, autorizado, de *Blockchain*.

⁵⁶ Programas oferecidos por algumas organizações nos quais indivíduos podem receber recompensas por relatar bugs, especialmente aqueles relacionados com explorações de segurança e vulnerabilidades.

⁵⁷ <https://supplychaindigital.com/> (acedido em 25/4/2022)

4.4 HIPÓTESE 4 | CONTRATOS INTELIGENTES (*SMART CONTRACTS*)

As transações sem papel têm o potencial de enfrentar alguns dos desafios em torno dos custos das transações no setor. Os sistemas de pagamento existentes estão repletos de ineficiências. Em 2017, mais de 200 milhões de contentores equivalentes a vinte pés (TEU) foram manuseados no setor marítimo global, exigindo a emissão, verificação, pagamento e reconciliação de mais de 1,25 mil milhões de faturas de frete. As ineficiências do sistema associadas a estas transações, incluindo os custos de transação e os termos de pagamento, tais como *Cash Against Documents* (onde a confiança de novos clientes é uma questão), estão estimadas em mais de 34 mil milhões de dólares (Drewry, 2018).

Existem várias áreas onde o processo de pagamento existente no setor marítimo é relativamente ineficiente, em comparação com os pagamentos noutras áreas. A primeira é a falta de automatização, em particular para os pequenos e médios expedidores e transitários, onde o trabalho manual é envolvido na faturação, e os pagamentos envolvem tipicamente transferências bancárias e cheques. O processamento de faturas pelos expedidores requer uma estimativa de 2 a 15 minutos de trabalho manual por fatura (correta), e muito mais se as faturas estiverem incorretas. Os impactos e custos destas ineficiências tendem a ser suportados por essas empresas e entidades mais pequenas, enquanto as empresas de maior dimensão tendem a recorrer a contratos de longo prazo e soluções informáticas para a faturação e liquidação de fretes (HellenicShippingNews, 2019).

O processo de utilização de termos de pagamento *Cash Against Documents* é outra fonte de ineficiência e custos do sistema, mas é utilizado para proteger os expedidores e intermediários no caso de trabalharem com um novo destinatário desconhecido, ou seja, no caso em que a confiança está ausente. Num acordo *Cash Against Documents*, a companhia marítima só libertará um conhecimento de embarque após o pagamento das taxas de origem e só libertará a carga após o pagamento das taxas de destino e respetivo frete. Estes acordos são intensivos em tempo e recursos e estão habitualmente associados a custos de transação elevados (Drewry, 2018).

Finalmente, as Cartas de crédito, que correspondem a acordos contratuais em nome de um cliente do banco autorizando o banco a fazer pagamentos a outro banco do beneficiário, têm sido utilizadas durante séculos no comércio internacional, implicando custos consideráveis para as várias partes envolvidas. As cartas de crédito exigem a utilização de bancos como

intermediários, e como tal estão associadas a elevados custos de transação até centenas de dólares por carta de crédito ⁵⁸

Existem mais desafios ou limitações ao processo de pagamento no setor marítimo que incluem: as transferências de fundos não chegarem ao destinatário pretendido; os atrasos no crédito de fundos às contas poderem demorar períodos consideráveis; as perdas associadas a conversões de moeda (mesmo na ausência de flutuações cambiais por força das comissões); e, custos elevados de transações através de bancos parceiros ⁵³

4.4.1 Quarta Questão de Investigação e Formulação da Hipótese

Embora existam esquemas de pagamento automático, tais como alojamento, administração pública, serviços alimentares e transportes aéreos, no mercado interno dos Estados Unidos da América e União Europeia, estes estão relativamente ausentes do setor marítimo. Foram propostos e/ou desenvolvidos vários métodos para enfrentar ou melhorar os desafios e ineficiências nos pagamentos de transporte marítimo – na sua maioria envolvendo plataformas que permitem aos clientes solicitar crédito e/ou permitem a digitalização e automatização dos processos de pagamento para permitir pagamentos digitais no transporte de mercadorias. Estas soluções incluem a *PayCargo.com*, a *CargoSprint*, a *Veem*, a *US Bank/Elavon*, a *Cass*, e uma parceria entre *MasterCard*, a *Stargo* e a *BlueJay* ⁵⁹.

Podemos assim, formular a quarta questão de investigação (RQ4): Qual a viabilidade da aplicação da *Blockchain* nos Contratos de Embarque Inteligentes (*Smart Contracts*)?

Para responder à RQ4, colocamos a seguinte hipótese: Avaliar, se a nível global, a tecnologia *Blockchain* é utilizada com sucesso em algum caso prático, relacionado com os Contratos de Embarque Inteligentes (*Smart Contracts*) na Indústria Marítima.

4.4.2 Teste à Hipótese 4

A digitalização da validação da entrega e processamento do pagamento na expedição tem o potencial de reduzir ineficiências, reduzir custos de transação, e poupar tempo e recursos. Contudo, existem preocupações de segurança associadas a esta mudança, uma vez que a conversão de pagamentos em plataformas digitalizadas e centralizadas pode colocar em risco

⁵⁸ PSF- Prime Shipping Foundation 2018

⁵⁹ <https://paycargo.com/>(acedido em 18/12/2021)

os dados dos participantes, criando potenciais riscos de segurança e/ou financeiros para os participantes.

Tal como referido no documento de referência (Green, Carr, Winebrake, & Corbett, 2020) e acima dos casos de utilização, a cibersegurança é uma preocupação crescente no setor marítimo, aliás como para outros setores, como ataques recentes têm demonstrado. Os erros intencionais, como os ciberataques ou não intencionais, como perda, corrupção, ou comprometimento de dados, têm o potencial de resultar em falhas operacionais e de segurança (IMO, IMO 2018 UN, 2018).

A *Blockchain* foi concebida como uma via potencial para melhorar a eficiência das validações de entregas e/ou pagamentos no setor marítimo, permitindo uma plataforma descentralizada e imutável que poderia melhorar a rapidez e fiabilidade das remessas e remover intermediários desnecessários através da utilização de um sistema transparente e seguro para tratar as transações⁶⁰

Foi sugerida a integração de contratos inteligentes na *Blockchain* como uma forma de minimizar ou eliminar os atuais desafios e limitações de transações financeiras no setor marítimo. Esta integração poderá simplificar essas transações permitindo ao mesmo tempo registos acessíveis a todas as partes relevantes. Tais contratos inteligentes, se corretamente aplicados, poderiam oferecer uma oportunidade de racionalizar e melhorar a eficiência e transparência das transações de transporte marítimo e acordos contratuais, reduzindo ao mesmo tempo os seus custos.

No caso de validação e pagamentos de embarque, os contratos inteligentes poderiam permitir aos participantes celebrar acordos na plataforma da *Blockchain* onde, por exemplo, os pagamentos seriam retidos em caução até que uma entrega de embarque fosse validada, a carga fosse libertada, uma certa inspeção fosse aprovada ou um determinado conjunto de condições fosse cumprido. Adicionalmente, os pagamentos na *Blockchain* poderiam envolver a utilização de fichas ou de uma moeda criptográficas em vez dos atuais sistemas herdados.

As fichas ou moedas criptográficas específicas do setor marítimo poderiam ser utilizadas para facilitar a validação das entregas e/ou os pagamentos das remessas. Esta abordagem,

⁶⁰ <https://tokenmarket.net/blockchain/ethereum/assets/prime-shipping-foundation/> (acedido em 12/11/2022- mas fora de serviço a partir de 02/02/2022)

argumenta-se, poderia permitir pagamentos instantâneos bem como a conversão instantânea de moedas, e simplificar o número e a complexidade das transações entre empresas.

A utilização de contratos inteligentes e fichas na validação de entregas e pagamentos foi proposta e/ou está em desenvolvimento por várias entidades (incluindo *300Cubits*, *Prime Shipping Foundation*, e *ShipChain*), embora, sem sucesso até este momento.

300Cubits⁶¹

A *300Cubits* propôs a utilização de contratos inteligentes na plataforma *Ethereum*, permitindo que as suas fichas *TEU* fossem utilizadas como depósitos de reserva nos envios. Um carregamento experimental constituído por dois contentores de 40 pés enviados da Malásia para o Brasil foi concluído no início de 2018; as fichas *TEU* foram devolvidas aos utilizadores após a receção de uma mensagem EDI portuária confirmando a receção do carregamento. O sistema entrou em funcionamento em julho de 2018 – iniciando a *300Cubits* discussões com os principais expedidores (Meyer, 2019). No entanto, em outubro de 2019, *300Cubits* tinha suspenso as operações da *Blockchain*, citando falta de negócio. A maioria das fichas do *TEU* foram "queimadas" e estão agora extintas (Meyer, 2019). Gostaríamos de salientar que as fichas *TEU* geraram um interesse considerável dentro do espaço marítimo, uma vez que grandes linhas de contentores como *CMA CGM*, *MSC*, *COSCO* e *SEALAND* do Grupo *MAERSK* participaram e impulsionaram os processos logísticos marítimos.

Para compreender o que correu mal, temos primeiro de olhar para o problema que as fichas *TEU* se propuseram a resolver. Atualmente, na grande maioria dos casos, quando um contentor é reservado para ser transportador num navio, não é pago nenhum depósito. Se o contentor não aparecer no porto a tempo, não existe qualquer mecanismo contratual que permita ao transportador recuperar parte ou a totalidade do custo da reserva. Consequentemente, os transportadores fazem frequentemente uma “sobre reserva” de um navio. Vendem mais espaço a bordo do navio do que realmente têm, e assumem que uma pequena percentagem da carga não vai aparecer.

Se aparecer demasiada carga, parte dela será transferida para o navio seguinte.

⁶¹ <https://www.300cubits.tech/>

Para combater a questão da carga enrolada⁶², os carregadores compram frequentemente mais capacidade do que necessitam para aumentar as suas hipóteses de colocar toda a sua carga a bordo do navio. A compra excessiva e a venda excessiva de capacidade em navios porta-contentores são uma espiral contínua.

Os *Tokens*⁶³ *TEU* foram concebidos para funcionar como um depósito baseado na *Blockchain* para salvaguardar a reserva de um contentor. Os *Tokens*, baseados na *Blockchain Ethereum*, foram utilizados como depósito de segurança entre um expedidor e um transportador quando foi feita uma reserva. Assim que o contentor fosse carregado no navio, as fichas do *TEU* seriam devolvidas a ambas as partes. Se o contentor não aparecesse, o *token* seria retido pelo transportador como compensação, e vice-versa se a carga fosse enrolada.

Uma das questões dos *Tokens TEU* era a sua falta de valor intrínseco. A estratégia de lançamento das fichas, de acordo com Johnson Leung, fundador e CEO da *300Cubits*, era "*oferecê-la ao transportador e aos expedidores para a utilizar como depósito*" gratuitamente e para que o valor na moeda viesse da criação de um "*mercado secundário*" quando a moeda fosse vendida numa troca aberta através de uma *ICO*. Embora as fichas *TEU* fossem um grande meio de troca, a sua falta de percepção de valor significava que não podiam funcionar eficazmente como um depósito e os transportadores e expedidores que recebiam fichas gratuitas não tinham qualquer incentivo para as utilizar como caução porque não havia qualquer garantia de que isso se traduziria em qualquer tipo de proteção financeira para o utilizador final.

Para além disso, a ambiguidade regulamentar existente em relação às moedas criptográficas são um grande exemplo de como as novas tecnologias podem apanhar os reguladores desprevenidos. Muito poucos Estados-nação criaram regulamentações evoluídas relativamente ao uso de moedas criptográficas. As únicas grandes economias a adotar uma abordagem hostil são a China e a Índia que proibiram o uso de moedas criptográficas por instituições financeiras. Para a maioria do resto do mundo, o uso de moedas criptográficas não é ilegal nem explicitamente apoiado pelo sistema legal.

⁶² Carga enrolada é a carga que não pode ser carregada no navio em que estava programada para embarcar, porque este ficou sem capacidade. Os navios ficam sem capacidade porque os transportadores fazem *overbooking*, à semelhança de como as companhias aéreas de passageiros fazem com o *overbooking* dos assentos.

⁶³ Uma ficha criptográfica é uma ficha de moeda virtual ou uma denominação de uma moeda criptográfica. Representa um bem ou utilidade comerciável que reside na sua própria *Blockchain* e permite ao seu detentor utilizá-lo para fins de investimento, pagamento ou garantia.

ShipChain⁶⁴

A *ShipChain*, baseada na plataforma *Ethereum*, é uma empresa de logística de expedição em *Blockchain* com o objetivo de acompanhar as expedições desde as instalações de produção até à entrega final a um cliente. A *ShipChain* desenvolveu a moeda criptográfica *SHIP*, sendo uma das utilizações pretendidas permitir aos clientes utilizar moedas *SHIP* para pagar o rastreio de envios ou outros serviços do mundo real (Meyer, 2019). A sua oferta inicial de moedas ICO em 2018 (essencialmente uma oportunidade para investir na empresa) foi recebida com grande escrutínio público, uma vez que, depois de angariar mais de 30 milhões de dólares, o valor das moedas *SHIP* caiu para cerca de 1% do valor inicial, e o preço situa-se agora numa fração de um cêntimo. Embora a moeda *SHIP* não pareça estar a ser utilizada em quaisquer aplicações, a *ShipChain* ainda está envolvida no seguimento e localização de envios, utilizando a plataforma principal *Ethereum* e cadeias laterais em vários modos e indústrias (camiões, ferroviário, aéreo, marítimo) (ShipChain, 2020).

PSF - Prime Shipping Foundation⁶⁵

Por último, a *PSF* começou como um projeto de fonte aberta com o objetivo de permitir pagamentos no setor marítimo utilizando a sua moeda *PRIME token/cryptocurrency*. Tal como aconteceu com a *300Cubits* e a *ShipChain*, o sistema proposto de *PSF* destinava-se a utilizar a plataforma *Ethereum*. A *Prime Shipping Foundation*, no seu Livro Branco⁶⁶, sugeriu que o sistema permitiria aos utilizadores acompanhar os envios através de toda a cadeia de abastecimento, e permitiria pagamentos instantâneos e conversões de moeda fiducial, ou seja, moedas correntes, EUR, USD. O sistema proposto também incorporaria contratos inteligentes para facilitar as negociações e permitir pagamentos entre os participantes, assim que certas condições acordadas fossem cumpridas. Estes pagamentos, feitos com fichas *PRIME*, seriam mantidos em caução até que estas condições fossem cumpridas (Lande & Zunino, 2018).

As falhas e/ou cancelamentos destes projetos indicam que existem barreiras e desafios significativos à utilização da *Blockchain*.

⁶⁴ <https://shipchain.io/>

⁶⁵ <https://icoholder.com/en/prime-shipping-foundation-22505>

⁶⁶ O primeiro ecossistema de pagamento do mundo para a expedição, residindo 100% na *Blockchain*. Um sistema de pagamento online, banco criptográfico e troca para clientes empresariais, pequenas e grandes empresas, que participam no mercado da navegação marítima.

5 CONFIRMAÇÃO OU REJEIÇÃO DAS HIPÓTESES

5.1 CONFIRMAÇÃO OU REJEIÇÃO DA HIPÓTESE 1

Como foi apresentado no capítulo 4.1.2 os principais intervenientes no transporte marítimo associaram-se e testaram com sucesso um projeto relativo ao teste de um combustível de bancas com marca de ADN utilizando a *Blockchain*. O ensaio utilizou um rastreador, que foi adicionado ao combustível enquanto estava a ser carregado para a barçaça *Minerva*, através de uma bomba doseadora na linha de combustível. Foi o *Bureau Veritas* que inspecionou a condição da linha de combustível e os tanques de carga recetores, confirmando que estavam vazios.

A tecnologia *Blockchain* possibilita um sistema imutável e rastreável da origem do combustível até ao consumo final a bordo dos navios. Acresce que este mecanismo é compatível com aplicações em tempo real (*IIoT*). A digitalização da documentação na garantia de combustível registados num Livro-Razão distribuído permite o controlo da qualidade do produto desde a origem até ao abastecimento. Neste caso particular, apesar de o registo de aprovações e de *sign-offs* só poder ir até certo ponto, houve a necessidade de um marcador físico no combustível para determinar se foi adulterado ou alterado. A possibilidade da incorporação de marcadores de ADN no sistema e a impossibilidade de qualquer alteração durante a cadeia de abastecimento impossibilitará a alteração dos certificados de origem e consequentemente a fraude.

Resulta assim, que existem casos de sucesso da tecnologia *Blockchain* aplicada ao rastreio da qualidade do combustível na indústria marítima, pelo que a Hipótese 1 é confirmada.

5.2 CONFIRMAÇÃO OU REJEIÇÃO DA HIPÓTESE 2

Salientamos aqui o sucesso da plataforma *TradeLens* que utiliza a tecnologia *IBM Blockchain* como base para cadeias de fornecimento digitais, permitindo a múltiplos parceiros comerciais colaborar estabelecendo uma única visão partilhada de uma transação sem comprometer detalhes, privacidade ou confidencialidade.

Nesta plataforma, expedidores, companhias marítimas, transitários, operadores portuários e de terminais, transporte terrestre e autoridades aduaneiras podem interagir de forma mais eficiente através do acesso em tempo real a dados e documentos de expedição, incluindo dados *IoT* e dados de sensores que vão desde o controlo da temperatura até ao peso do contentor.

Resulta assim, que existem casos de sucesso da tecnologia *Blockchain* aplicada ao rastreio da carga embarcada na indústria marítima, pelo que a Hipótese 2 é confirmada.

5.3 CONFIRMAÇÃO OU REJEIÇÃO DA HIPÓTESE 3

Um elemento essencial de uma transação comercial internacional sólida é a existência de um documento único, claro, simples e exequível e aceitável para vários profissionais da indústria. Na indústria marítima, este documento é o conhecimento de embarque.

No teste efetuado nesta hipótese, entre as aplicações recentes da tecnologia *Blockchain* em transações de conhecimentos de embarque, incluem-se o *Smart B/L* da *Cargo X*, *Wave* e a parceria *Maersk-IBM TradeLens*.

Resulta assim, pelo sucesso destas plataformas aplicadas ao Conhecimento de Embarque Eletrónico, que a Hipótese 3 é confirmada.

5.4 CONFIRMAÇÃO OU REJEIÇÃO DA HIPÓTESE 4

Como foi apresentado no capítulo 4.4.2 as barreiras e desafios encontrados são relevantes para todos os casos, embora difiram em nível de significado e relevância por caso de utilização, e dependam da natureza e tipo de sistema (ou seja, privado, autorizado ou público, sem autorização).

Numa declaração anunciando a suspensão das operações, a equipa de *300 Cubits* citou "a falta de liquidez para as fichas do *TEU* e a volatilidade de todas moedas criptográficas como fonte de "dúvida constante entre os utilizadores sobre se o valor dos *tokens* poderia ser realizado".

Uma oferta inicial de moedas *ICO* foi agendada para finais de 2018, mas não houve qualquer atividade reportada pelo *PSF*, o CEO terá abandonado o projeto inesperadamente, e o website do *PSF* já não está funcional.

No caso da *ShipChain*, tal como foi referido, apesar da sua oferta inicial de moedas *ICO* em 2018 ter sido recebida com grande escrutínio público, o valor das moedas *SHIP* caiu para cerca de 1% do valor inicial.

Portanto, a aplicação da *Blockchain* originou falhas e/ou cancelamentos dos projetos para a utilização de contratos em cadeia e contratos inteligentes na validação de carregamentos e pagamentos no sector marítimo.

Resulta que não existem casos de sucesso da tecnologia *Blockchain* aplicada aos contratos inteligentes (*Smart Contracts*), pelo que a hipótese 4 é rejeitada.

6 SÍNTESE DA ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na sequência dos resultados obtidos nesta investigação, tal como em qualquer outra tecnologia disruptiva, estamos perante desafios e preocupações significativos na aplicação da *Blockchain* à indústria marítima.

Embora a tecnologia da *Blockchain* proporcione numerosas vantagens, a desvantagem encontrada tem a ver com a ausência de uma única norma subjacente. Além disso, os conceitos são difíceis de dominar e as intervenções de programação são necessárias, mesmo nas formas mais simples de implementação. No entanto, a tecnologia da *Blockchain* possui um enorme potencial de desenvolvimento e de melhorias adicionais no transporte marítimo.

Entre o potencial e a promessa da *Blockchain*, e numerosas iniciativas em pequena escala ou em fase-piloto no sector marítimo, existem barreiras significativas e desafios em torno da adoção em grande escala na navegação. As barreiras relacionam-se em grande parte com a cultura marítima, capacidades tecnológicas das partes interessadas, e custos de implementação. Os desafios incluem a utilização de energia e preocupações de segurança, e as limitações tecnológicas e os custos da tecnologia da cadeia de bloqueio e requisitos de sistema relacionados.

Uma aplicação ampla requer um grande poder de computação (Jović, Filipović, Tijan, & Jardas, 2019). De facto, as implicações do consumo de energia devem ser abordadas antes de a utilização da tecnologia se tornar convencional (Van Rijmenam, Schweitzer, & Williams, 2018). A principal preocupação da implementação da *Blockchain* na indústria marítima é o custo que está relacionado com o desenvolvimento inicial e posterior manutenção. Haverá custos adicionais se as empresas precisarem de mudar os sistemas para além da necessidade de formar os seus colaboradores para adquirirem os conhecimentos da *Blockchain* (Gausdal, Czachorowski, & Solesvik, 2018). Além disso, a principal desvantagem da *Blockchain* é o elevado consumo de energia. O livro-razão em tempo real precisa de energia em tempo real. Quando um novo nó é estabelecido na *Blockchain*, ele comunica com outros nós, consumindo quantidades substanciais de energia informática (Golosova & Romanovs, 2018). Ao considerarmos os elevados custos de investimento inicial, investir montantes elevados em

empresas tecnológicas para trabalharem numa "*Blockchain privada*" é um risco que prejudica a sua adoção na indústria marítima. As principais companhias de navegação marítima são as partes com maior potencial de beneficiar da *Blockchain*, dada a complexidade das suas cadeias de abastecimento, as necessidades das diversas partes interessadas e as enormes exigências em termos de recursos financeiros e daí as principais aplicações piloto da *Blockchain* no transporte marítimo tenham ocorrido nas maiores empresas do setor, como exemplo, um grupo de líderes digitais da *MAERSK*, *CMA CGM*, *HAPAG-Lloyd*, *MSC* e *ONE* que começaram a discutir a criação de normas comuns de tecnologia da informação na indústria marítima.

A fiabilidade da *Blockchain* é ainda posta em causa em algumas atividades da indústria marítima, considerada imatura e necessitando de um maior desenvolvimento (Saber, Kouhizadeh, Sarkis, & Shen, 2019). Para alguns profissionais relacionados com estas atividades, os nós da *Blockchain* suportados por *software* ou mesmo *hardware* não devidamente atualizado configura-se como um problema nas transações (Golosova & Romanovs, 2018). Além disso, dada a especialidade da indústria marítima, a velocidade da *Internet* pode ser baixa quando a fase de trabalho é *offshore*, limitando a atualidade do carregamento de dados e a função de atualização da *Blockchain* (Gausdal, Czachorowski, & Solesvik, 2018). A *Blockchain* pode ser atacada por diferentes ameaças que se ligam com os protocolos de prova de trabalho e *PoE* (*Power-over-Ethernet*)⁶⁷. Existem ainda incertezas em termos do quadro regulatório da aplicação da tecnologia *Blockchain*, em particular à dimensão de cobertura de seguros. O desenvolvimento de regulamentos claros e a introdução de normas que uniformizem alguns dos procedimentos é uma forma de reforçar a atratividade da tecnologia.

A tecnologia *Blockchain* é ainda difícil de implementar (Jović, Filipović, Tijan, & Jardas, 2019). Operacionalmente, é um desafio conseguir uma adoção generalizada devido ao recuo das atuais infraestruturas marítimas e potenciais conflitos entre as diferentes partes interessadas. A complexidade do negócio de navegação também será um desafio a ter em conta nesta implementação.

A *Blockchain* apresenta muitos benefícios para a segurança cibernética, mas também apresenta as suas vulnerabilidades. Os sistemas da *Blockchain* são também vulneráveis a ciberataques. Num momento inicial considerou-se que esta tecnologia era em grande medida "não

⁶⁷ Tecnologia que permite transmissão de energia elétrica juntamente com os dados para um dispositivo remoto, através do cabo de par trançado padrão.

pirateável", mas está agora a ser pirateada a um ritmo crescente. Os ataques às *Blockchain* variam consoante se trate de redes públicas ou privadas, mas existem quatro formas principais de os *hackers* ameaçarem as *Blockchain*: “*phishing*”, “*routing*”, “*Sybil*” e ataques de 51%⁶⁸.

Preocupações legais ou regulamentares e limitações dos contratos inteligentes. Foi sugerida a integração de contratos inteligentes em *Blockchain* como uma forma de minimizar ou eliminar os atuais desafios e limitações de um conjunto relevante de transações, permitindo ao mesmo tempo a acessibilidade aos registos a todas as partes relevantes. No entanto, se forem incorretamente implementados, os contratos inteligentes podem também apresentar desafios relacionados com (ou possivelmente contrariar) estes objetivos, dadas algumas das limitações e desafios. Os contratos legais tradicionais (e neste caso, em que a principal característica relevante é serem em papel, fora do código) incluem frequentemente cláusulas e condições que não são facilmente quantificáveis e por isso não podem ser executados por contratos inteligentes. Esta característica é comum aos contratos no setor marítimo. Os contratos tendem a conter cláusulas específicas a cada operação de embarque ou transação e certos aspetos das transações são tipicamente tratados comercialmente: normas e características marítimas teriam de ser reconhecidas e contabilizadas na *Blockchain*.

De acordo com a investigação, os intervenientes da indústria marítima expressaram preocupações quanto à necessidade de regular a tecnologia da *Blockchain* em termos de propriedade e proteção de dados. As suas principais preocupações estão relacionadas com o Regulamento Geral de Proteção de Dados da UE (GDPR) e com a forma como a indústria pode gerir dados e/ou possuir dados dos clientes (Ytterström & Lenberg, 2019). Expressam igualmente preocupações em relação à jurisdição atual e futura, não sabendo como seriam resolvidas as disputas caso surgissem (Wagner & Wiśnicki, 2019).

Na sequência das preocupações enunciadas anteriormente resultam os desafios que são colocados à indústria marítima na aplicação desta tecnologia.

As partes interessadas têm de aprofundar o entendimento desta tecnologia para minimizar os riscos associados à sua implementação. Estes desafios incluem: (i) desenvolver (ou participar no desenvolvimento de) um quadro regulamentar; (ii) examinar a extensão do impacto energético e ambiental da plataforma da *Blockchain*; (iii) examinar e compreender melhor os

⁶⁸ <https://www.cengn.ca/information-centre/innovation/the-benefits-and-vulnerabilities-of-blockchain-security/>

custos associados ao *Blockchain*; e (iv) compreender e/ou minimizar os riscos de segurança da *Blockchain*.

As opções que poderão conduzir à mitigação destes riscos incluem: educação, formação e desenvolvimento de capacidades; colaboração entre companhias de navegação, portos e Autoridades oficiais ou de outra forma apoiar os esforços de interoperabilidade técnica; financiamento e/ou outro tipo de apoio.

Além disso, vários atritos ainda estão presentes no mercado, com atores e reguladores locais que não estão atualmente identificados com as diferentes iniciativas e que podem gerar barreiras à implementação da *Blockchain*.

Em função da pesquisa efetuada nesta dissertação, resumimos no quadro 10 alguns desafios que consideramos importantes para os intervenientes da indústria marítima considerarem com vista a aplicação futura da *Blockchain* nesta indústria:

Quadro 10 - Desafios da aplicação *Blockchain* para os intervenientes da Indústria Marítima

Intervenientes na indústria Marítima	Desafios
Operadores de navios	Começar primeiro com pequenos projectos e áreas selectivas
	Escolher técnicos formados em paralelo com o desenvolvimento de um quadro regulamentar e maturidade da tecnologia
	Procurar proactivamente a cooperação pois a <i>Blockchain</i> poderá ser tão benéfica sem atingir uma massa crítica
Operadores de terminais	Integrar a <i>Blockchain</i> com os sistemas da comunidade portuária
	Integrar cadeia de blocos em sistemas portuários como a "smart grid" para melhorar a automatização nos terminais
Sociedades de classificação	Ser um centro de conhecimento de cadeias de bloqueio e prestador de serviços da <i>Blockchain</i> na indústria
	Alavancar os seus conhecimentos especializados especialmente na criação de normas para ajudar a estabelecer normas de cadeia de bloqueio na indústria
Fabricantes de equipamento	Monitorizar os desenvolvimentos da <i>Blockchain</i>
	Integrar tecnologia de cadeias de blocos com impressão em 3D para um serviço mais simples e mais seguro
Fornecedores de tecnologia	Foco no desenvolvimento de soluções interoperáveis para as organizações marítimas
	Estar em paralelo com o desenvolvimento do quadro regulamentar e da tecnologia
Fornecedores de serviços	Envolver proactivamente no desenvolvimento de normas industriais de protocolo da <i>Blockchain</i>
	Fazer esforços para educar os utilizadores porque a <i>Blockchain</i> não terá sucesso se poucas pessoas não a utilizarem
	Estar preparado com a baixa velocidade de difusão da <i>Blockchain</i> na indústria
Agências governamentais	Combinar códigos legais e técnicos para reger a utilização da <i>Blockchain</i>
	Liderar a cooperação industrial, ligando diferentes actores para estabelecer normas
	Cooperar com organizações internacionais e outras jurisdições para a criação de princípios de regulamentação global
	Revisão do seu quadro legal para encorajar a utilização da <i>Blockchain</i> empresas

7 CONCLUSÕES

Esta dissertação centrou-se na viabilidade e potenciais vantagens da utilização da tecnologia *Blockchain* na indústria marítima. Pretendeu-se avaliar se a troca de informação baseada na aplicação da tecnologia *Blockchain*, aporta vantagens ao nível da sustentabilidade, eficiência e eficácia à indústria marítima.

Esta problemática surgiu da perceção comum de que a indústria marítima carece de inovação digital nas suas operações dentro da logística da cadeia de abastecimento sustentável. Neste sentido, colocámos a seguinte pergunta de investigação (RP): Poderá a tecnologia *Blockchain* aportar ganhos à indústria marítima?

A procura de uma possível resposta a este problema tornou-se assim, o objetivo desta investigação, para o qual, foi utilizada uma abordagem hipotético-dedutiva como metodologia centrada na (1) rastreabilidade da qualidade do combustível, (2) rastreio da carga embarcada, (3) validação dos conhecimentos de embarque inteligentes e (4) viabilidade dos Contratos de Embarque Inteligentes (*Smart Contracts*).

Relativamente à rastreabilidade da qualidade do combustível colocou-se a seguinte questão de investigação (RQ1): Qual a viabilidade da aplicação da *Blockchain* no rastreio da qualidade do combustível?

Partindo da RQ1, e seguindo a metodologia hipotético-dedutiva, testou-se como Hipótese (H1) se a nível global na Indústria Marítima, a tecnologia *Blockchain* já é utilizada com sucesso em algum caso prático, relacionado com o rastreio da qualidade do combustível.

Verifica-se que a aplicação da *Blockchain* é hoje uma tecnologia importante na gestão do risco dos combustíveis marítimos através da criação de uma cadeia transparente de custódia. Adicionalmente, sistemas baseados em *Blockchain* podem oferecer uma oportunidade de melhor rastreio e rastreabilidade das origens e qualidade do combustível, através do registo num livro de registos distribuído de informações e dados recolhidos ao longo da cadeia de abastecimento de combustível de bancas. Conclui-se assim, que existem casos de sucesso da tecnologia *Blockchain* aplicada ao rastreio da qualidade do combustível na indústria marítima, pelo que a Hipótese 1 é confirmada.

Relativamente ao rastreio da carga embarcada colocou-se a seguinte questão de investigação (RQ2): Existem ganhos resultantes da aplicação da *Blockchain* no rastreio da carga embarcada?

Partindo da RQ2, e seguindo a metodologia hipotético-dedutiva, testou-se como Hipótese (H2): Avaliar, se na Indústria Marítima a nível global, a tecnologia *Blockchain* é utilizada com sucesso em algum caso prático, relacionado com o rastreio da carga embarcada.

A *Blockchain* melhora o atual sistema de seguimento nas cadeias de abastecimento, mantendo um registo imutável e rastreável dos movimentos dos produtos desde a origem até aos clientes finais, em tempo real. Cada produto é etiquetado com uma identificação única e digitalizado em cada fase de transporte. Os dados de digitalização são então registados num Livro-Razão distribuído e partilhados entre as partes na cadeia de transação. É possível adicionar dados mais abrangentes, tais como a temperatura do produto e o estado do contentor vazio. Assim, a *Blockchain* serve como um canal de confiança para verificar a genuinidade dos produtos, prevenir os riscos de contrafação e monitorizar a qualidade do produto em cada fase de transporte. Resulta assim, que existem casos de sucesso da tecnologia *Blockchain* aplicada ao rastreio da carga embarcada na indústria marítima, pelo que a Hipótese 2 é confirmada.

Relativamente à validação dos conhecimentos de embarque inteligentes colocou-se a seguinte questão de investigação (RQ3): Poderá a *Blockchain* validar os Conhecimentos de Embarque Eletrónicos- e/BL?

Partindo da RQ3, e seguindo a metodologia hipotético-dedutiva, testou-se como Hipótese (H3): Avaliar, se a nível global na Indústria Marítima, a tecnologia *Blockchain* é utilizada com sucesso em algum caso prático, relacionado com a validação dos conhecimentos de embarque inteligentes (eBL).

A *Blockchain* mitiga os riscos de fraude, permitindo a comunicação direta entre pares sem qualquer parte central. Ao mesmo tempo, ao possibilitar que a informação pode ser assegurada por criptografia unidirecional onde apenas é permitida a descriptação por um destinatário específico, garante a questão da confidencialidade. Os atuais proprietários de cargas podem aprovar eBLs com a sua própria assinatura digital e incluir a chave pública do próximo proprietário na transação. Com isso, a transferência de eBLs será registada na *Blockchain* por ordem cronológica e pode ser utilizada para rastrear o histórico de propriedade, verificando as assinaturas. Confirma-se assim, que existem casos de sucesso da tecnologia *Blockchain* aplicada à validação dos Conhecimentos de Embarque Inteligentes (eBL) pelo que a Hipótese 3 é confirmada.

Relativamente à viabilidade da aplicação da *Blockchain* nos Contratos de Embarque Inteligentes (*Smart Contracts*) colocou-se a seguinte questão de investigação (RQ4): Qual a viabilidade da aplicação da *Blockchain* nos Contratos de Embarque Inteligentes (*Smart Contracts*)?

Partindo da RQ4, e seguindo a metodologia hipotético-dedutiva, testou-se como Hipótese (H4): Avaliar, se a nível global, a tecnologia *Blockchain* é utilizada com sucesso em algum caso prático, relacionado com os Contratos de Embarque Inteligentes (*Smart Contracts*) na Indústria Marítima.

Investigámos as aplicações de soluções *Blockchain* de três empresas no mercado de transporte de contentores.

A *300cubits* com sede em Hong Kong, um dos pioneiros na aplicação *Blockchain*, decidiu suspender o funcionamento do seu Módulo de Depósito de Reservas a partir de 1 de outubro de 2019. Tal como explicado, a falta de clareza nos regimes regulamentares em torno das moedas digitais provou ser o maior obstáculo nos esforços de marketing dos *300cubits*. Além disso, a falta de liquidez para as fichas *TEU* e a volatilidade de todas as moedas criptográficas em geral também lança uma dúvida constante entre os utilizadores sobre se o valor das fichas poderá ser realizado. Especificamente, muitos utilizadores potenciais afastaram-se de tentar, pois não tinham a certeza das medidas regulamentares que as autoridades poderiam tomar em relação às moedas digitais. No caso da *ShipChain* a ordem de cessar e desistir está relacionada com o não registo da *ShipChain* com o corretor de segurança na Carolina do Sul e a sua emissão de fichas *SHIP*. No caso terceiro caso investigado a *PSF - Prime Shipping Foundation* também desistiu do projeto por opção própria. As falhas e/ou cancelamentos das iniciativas existentes indicam que existem barreiras e desafios significativos à utilização de contratos em cadeia e contratos inteligentes na validação de carregamentos e pagamentos no sector marítimo. Resulta que não existem até ao momento, casos de sucesso da tecnologia *Blockchain* aplicada aos contratos inteligentes (*Smart Contracts*), pelo que a Hipótese 4 é rejeitada.

Desta análise hipotético-dedutiva, da qual resultou a confirmação de três das quatro hipóteses, podemos concluir que foi encontrada uma resposta ao Problema de Investigação (RP) proposto, ou seja, a tecnologia *Blockchain* tende a aportar ganhos à Indústria Marítima.

Como elementos adicionais a esta conclusão, da literatura, assim como do estudo de casos práticos identificados, esta tecnologia é ainda utilizada de modo muito pontual na indústria

marítima, comparativamente a outras indústrias. Identificou-se ainda, a necessidade de serem criados incentivos adicionais à adoção desta tecnologia em vários ambientes, pois, com base na revisão bibliográfica e nos resultados, torna-se claro que a indústria é motivada pelos custos e pela necessidade de cumprir com requisitos legais. A falta de conhecimento da indústria marítima das possibilidades da *Blockchain* é uma das principais razões para um ritmo de adesão bastante lento. A alteração desta dimensão num futuro próximo, pretende ser um dos contributos desta dissertação.

Consideramos assim, que os objetivos desta investigação foram atingidos com sucesso e que a metodologia utilizada mostrou-se ser apropriada para este trabalho de investigação.

Limitações e propostas para futuras investigações

Embora a *Blockchain* seja amplamente conhecida por sustentar as moedas criptográficas, tornou-se um componente central para a divulgação eficiente de informação e dados em todo o mundo empresarial. A *Blockchain* dá aos utilizadores autorizados acesso a ordens de rastreio de dados, contas, produção, horários e expedição em tempo real, eliminando os atrasos administrativos causados pela duplicação de esforços em assuntos como a entrada de dados e outras ações administrativas.

Os pontos fortes e fracos das cadeias de bloqueio residem na sua mecânica fundamental. Algoritmos de validação, registos distribuídos imutáveis e contratos inteligentes automatizados são apelativos para muitos casos de utilização, mas as preocupações de segurança em torno da ligação da *Blockchain* à *IoT* e outras aplicações, bem como a alta latência e o armazenamento deficiente podem dificultar as aplicações da *Blockchain*.

O resultado desta investigação indica que uma compreensão mais profunda das preocupações dos intervenientes e parceiros do setor marítimo será importante para que prossigam no contexto de cada caso de utilização. Este é particularmente o caso se e quando quaisquer dados ou informações armazenadas na *Blockchain* forem utilizados no cumprimento ou aplicação da regulamentação. As partes interessadas podem empenhar-se em aprofundar este entendimento e/ou minimizar os riscos, incluindo: desenvolver (ou participar no desenvolvimento de) um quadro regulamentar; examinar a extensão do impacto energético e ambiental da plataforma da *Blockchain*; examinar e compreender melhor os custos associados à *Blockchain*, e compreender e/ou minimizar os riscos de segurança da *Blockchain*. Se e quando estas preocupações forem bem compreendidas, abordadas e/ou minimizadas e as partes interessadas procurarem apoiar a

utilização da *Blockchain*, as opções incluem educação, formação e desenvolvimento de capacidades; colaboração ou de outra forma apoiar os esforços de interoperabilidade técnica, financiamento e ou outro apoio.

Considerando futuras investigações, e na sequência da rejeição da Hipótese 4, consideramos que novos estudos sobre a viabilidade da aplicação da *Blockchain* nos Contratos de Embarque Inteligentes (*Smart Contracts*) na Indústria Marítima continuam a ser um dos temas principais.

Salientamos para futuro estudo e, tal como foi referido no capítulo 3.8, os recentes desenvolvimentos da integração das tecnologias *IoT* e *Blockchain* efetuados pela *IBM* em parceria com a *Samsung*, que conceberam uma plataforma chamada *ADEPT* (*Autonomous Decentralized Peer-To-Peer Telemetry*) que utiliza a *Blockchain* para construir uma rede distribuída de dispositivos. A aplicação desta plataforma poderá ajudar a colmatar os problemas e insucessos da Hipótese 4.

Outra situação atual que pode ter sucesso para a viabilidade dos contratos inteligentes tem a ver com a “prova de entrega” (*PoD*) onde os transportadores e expedidores podem beneficiar da *Blockchain* na execução destes contratos. Uma prova de entrega (*PoD*) é um passo importante na logística. Confirma que o produto foi transportado para o seu destino em segurança e aceite por um destinatário. Algumas empresas ainda exigem que uma parte recetora assine formulários em papel. Outras utilizam software de *PoD* para capturar identificações e assinaturas eletrónicas. Em qualquer caso, há muito espaço para melhorias em termos de transparência, credibilidade, e relação custo-eficácia. E isto é exatamente o que a *Blockchain* pode oferecer. Uma das soluções existentes para a *Blockchain* centrada na prova da visibilidade da entrega é o *OpenPort*,⁶⁹ uma plataforma logística empresarial aberta para retalhistas, transportadores e expedidores. O seu sistema eletrónico *ePoD* emprega *Ethereum*. Isto permite o seguimento em tempo real de eventos de entrega, racionalizando pagamentos, documentando transações em registos imutáveis, e protegendo-os de ameaças externas - como erros, fraudes, taxas ocultas, ou ataques cibernéticos.

⁶⁹ <https://openport.com/>

BIBLIOGRAFIA

- ABS. (2020). *WORLDWIDE INSPECTIONS BY PORT STATE IN 2020*. Retrieved from <https://ww2.eagle.org/en.html>: <https://ww2.eagle.org/en/rules-and-resources/flag-port-state-information/inspections.html>
- AbuDhabiPorts. (2020, 05 17). Retrieved from <https://supplychaindigital.com/>: <https://supplychaindigital.com/technology-4/abu-dhabi-ports-launches-blockchain-platform-imports-and-exports>
- Abuhasel, K. A., & Khan, M. A. (2020). A secure industrial Internet of Things (IIoT) framework for resource management in smart manufacturing. *IEEE Access*, 8, 117354–117364.
- Agrifoglio, R., Cannavale, C., Laurenza, E., & Metallo, C. (2017). How emerging digital technologies affect operations management through co-creation. Empirical evidence from the maritime industry. *Production Planning & Control*, 28, 1298–1306.
- Aitzhan, N. Z., & Svetinovic, D. (2016). Security and privacy in decentralized energy trading through multi-signatures, blockchain and anonymous messaging streams. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 15, 840–852.
- AJOT. (2019, 10 21). *AJOT*. Retrieved from <https://ajot.com/n:https://ajot.com/news/blockchain-and-dna-based-marine-fuels-tracking-solution-%20bunkertrace-goes-live>
- Aksnes, D. W., & Sivertsen, G. (2019). A criteria-based assessment of the coverage of Scopus and Web of Science.
- Amasaka, K., & others. (2007). New Japan production model, an advanced production management principle-key to strategic implementation of new JIT. *International Business & Economics Research Journal (IBER)*, 6.
- Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., . . . Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100, 143–174.
- Apte, S., & Petrovsky, N. (2016). Will blockchain technology revolutionize excipient supply chain management? *Journal of Excipients and Food Chemicals*, 7, 910.

-
- Atlam, H. F., & Wills, G. B. (2019). In H. F. Atlam, & G. B. Wills. Elsevier.
- Atlam, H. F., Alenezi, A., Alassafi, M. O., & Wills, G. B. (2018). Blockchain with Internet of Things: Benefits, challenges, and future directions. *International Journal of Intelligent Systems & Applications*, 10.
- Atlam, H. F., Attiya, G., & El-Fishawy, N. (2013). *International Journal of Computer Applications - Comparative study on CBIR based on color feature*, 78.
- Atlam, H. F., Attiya, G., & El-Fishawy, N. (2017). *Int. J. Comput. Appl Integration of color and texture features in CBIR system*, 164, 23–29.
- Atlam, H. F., Walters, R., & Wills, G. (2018). *(IJICR) - Internet of things: state-of-the-art, challenges, applications, and open issues*, 9, 928–938.
- Babbie, E. R. (2010). Retrieved from <https://research-methodology.net/>: <https://research-methodology.net/research-methodology/research-approach/deductive-approach-2/>
- Bai, C., & Sarkis, J. (2020). A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology. *International Journal of Production Research*, 58, 2142–2162.
- Beck, R. (2018). Beyond bitcoin: The rise of blockchain world. *Computer*, 51, 54–58.
- Behnke, K., & Janssen, M. F. (2020). Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. *International Journal of Information Management*, 52, 101969.
- Benčić, F. M., & Žarko, I. P. (2018). Distributed ledger technology: Blockchain compared to directed acyclic graph. *2018 IEEE 38th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, (pp. 1569–1570).
- Benos, E., Garratt, R., & Gurrola-Perez, P. (2017). The economics of distributed ledger technology for securities settlement. *Available at SSRN 3023779*.
- Berke, A. (2017). How safe are blockchains? It depends. *Harvard Business Review*, 7.
- Bhandari, B. (2018). Supply chain management, blockchains and smart contracts. *Blockchains and Smart Contracts (June 28, 2018)*.
- BitCoin. (n.d.). Retrieved from <https://news.bitcoin.com/>: <https://news.bitcoin.com/>
- Bloc. (2018). Retrieved from <https://wearebloc.io/>: <https://wearebloc.io/labs/>

- Blockchain. (2019, 07). Retrieved from <https://blockchainhub.net/https://blockchainhub.net/blockchain-oracles/>
- Blockchain. (2021). Retrieved from <https://www.blockchains.com/>
- Blockchainhub. (2022). *blockchains-and-distributed-ledger-technologies-in-general/*. Retrieved from <https://blockchainhub.net/https://blockchainhub.net/blockchains-and-distributed-ledger-technologies-in-general/>
- BlockchainNews. (2018, 03 18). *BlockchainNews*. Retrieved from <https://www.the-blockchain.com/https://www.the-blockchain.com/2018/03/23/lloyds-register-foundation-funds-maritime-blockchain-labs-project-with-bloc/>
- Botton, N. (2018). *Blockchain and trade: not a fix for brexit, but could revolutionise global value chains (if governments let it)*. Tech. rep., ECIPE Policy Brief.
- Brown, S. E. (2019). IMO 2020: Industry Conditions and Readiness. *Tul. Mar. LJ*, 44, 145.
- Brunnermeier, J. A. (2019). In J. A. Brunnermeier, *Blockchain Economics*.
- Bunduchi, D. (2019). Emperor's New Blockchain: An Overview of the Technology Adoption within the Maritime Industry.
- Burnes, B., & New, S. (1996). Understanding supply chain improvement. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 2, 21–30.
- Cameron, B. G., Crawley, E. F., Loureiro, G., & Rebentisch, E. S. (2008). Value flow mapping: Using networks to inform stakeholder analysis. *Acta Astronautica*, 62, 324–333.
- CargoX. (2018). *Scribd*. Retrieved from <https://pt.scribd.com/https://cargox.io/static/files/CargoX-Blueprint-September-2021.pdf>
- Chainofthings. (2021). <https://www.chainofthings.com/>. Retrieved from <https://www.chainofthings.com/>
- Chen, L., Li, T., & Zhang, T. (2021). Supply chain leadership and firm performance: A meta-analysis. *International Journal of Production Economics*, 235, 108082.
- Cho, S., Elhourani, T., & Ramasubramanian, S. (2011). Independent directed acyclic graphs for resilient multipath routing. *IEEE/ACM Transactions on networking*, 20, 153–162.

-
- Choi, H. R., Moon, Y. S., Kim, J. J., Lee, J. K., Lee, K. B., & Shin, J. J. (2018). Development of an IoT-based container tracking system for China's Belt and Road (B&R) initiative. *Maritime Policy & Management*, 45, 388–402.
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the internet of things. *Ieee Access*, 4, 2292–2303.
- Cole, R., Stevenson, M., & Aitken, J. (2019). Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Conoscenti, M., Vetro, A., & De Martin, J. C. (2016). Blockchain for the Internet of Things: A systematic literature review. *2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)*, (pp. 1–6).
- Corbett, J. J., & Winebrake, J. (2008). *Global forum on transport and environment in a globalising world*, 31, p. 31.
- Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2007). Mortality from ship emissions: a global assessment. *Environmental science & technology*, 41, 8512–8518.
- Creswell, J. W. (2014). *A concise introduction to mixed methods research*. SAGE publications.
- CRF. (2018).
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., Kalyanaraman, V., & others. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation*, 2, 71.
- Czachorowski, K., Solesvik, M., & Kondratenko, Y. (2019). The application of blockchain technology in the maritime industry. In *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications* (pp. 561–577). Springer.
- Da Silva, A. (2019). *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em*. Paço d'Arcos.
- Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in industry*, 99, 205–225.
- De Vries, A. (2019). Bitcoin Energy Consumption Index (beta). <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>.

-
- Deloitte. (2016). Retrieved from <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/3d-printing-blockchain-in-manufacturing.html>:
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/3d-printing-blockchain-in-manufacturing.html>
- Di Gregorio, R., Nustad, S. S., & Constantiou, I. (2017). Blockchain adoption in the shipping industry. *A study of adoption likelihood and scenario-based opportunities and risks for IT service providers, Copenhagen Business School, Number of STUs*, 272.
- Di Vaio, A., & Varriale, L. (2018). Management innovation for environmental sustainability in seaports: Managerial accounting instruments and training for competitive green ports beyond the regulations. *Sustainability*, 10, 783.
- Dinh, T. T., Wang, J., Chen, G., Liu, R., Ooi, B. C., & Tan, K.-L. (2017). Blockbench: A framework for analyzing private blockchains. *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Management of Data*, (pp. 1085–1100).
- DiRenzo, J., Goward, D. A., & Roberts, F. S. (2015). The little-known challenge of maritime cyber security. *2015 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*, (pp. 1–5).
- DNV. (2018). Retrieved from <https://www.dnv.com/>:
<https://www.dnv.com/oilgas/perspectives/new-centre-to-boost-3D-printing-in-oil-and-gas-industry.html>
- Dorri, A., Kanhere, S. S., Jurdak, R., & Gauravaram, P. (2017). Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home. *2017 IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops (PerCom workshops)*, (pp. 618–623).
- Drewry. (2018, 5). *Drewry Supply Chain Advisors* |. Retrieved from <https://www.cadenadesuministro.es>:
<https://www.cadenadesuministro.es/wp-content/uploads/2018/05/Drewry-Facturacion-y-Procesos-de-Pago.pdf>
- Ducas, E., & Wilner, A. (2017). The security and financial implications of blockchain technologies: Regulating emerging technologies in Canada. *International Journal*, 72, 538–562.

-
- DYBLE, J. (2020, 05 17). *PIL, PSA and IBM to collaborate on innovative blockchain technology*. Retrieved from <https://supplychaindigital.com/technology-4/pil-psa-and-ibm-collaborate-innovative-blockchain-technology>
- Ethereum. (2019). *Ethereum Network Pending Transactions Chart*. Retrieved from <https://etherscan.io/>: <https://etherscan.io/chart/pendingtx>
- EY. (2018, 05 25). *World's first blockchain platform for marine insurance now in commercial use*. Retrieved from https://www.ey.com/en_gl/: https://www.ey.com/en_gl/news/2018/05/world-s-first-blockchain-platform-for-marine-insurance-now-in-co
- Fabiano, N. (2017). Internet of things and blockchain: legal issues and privacy. the challenge for a privacy standard. *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, (pp. 727–734).
- Fernandez-Carames, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2018). A Review on the Use of Blockchain for the Internet of Things. *Ieee Access*, 6, 32979–33001.
- Ferraro, P., King, C., & Shorten, R. (2018). Distributed ledger technology for smart cities, the sharing economy, and social compliance. *IEEE Access*, 6, 62728–62746.
- Filom, S., & van Hassel, E. (2020). Blockchain application for shipping industry documents. *IAME conference*.
- Galluci, M. (2019). *GRIST*. Retrieved from <https://grist.org/>: <https://grist.org/article/shipping-industry-takes-a-page-from-bitcoin-to-clean-up-its-act/>
- Ganne, E. (2018). *Can Blockchain revolutionize international trade?* World Trade Organization Geneva.
- Gatteschi, V., Lamberti, F., Demartini, C., Pranteda, C., & Santamaría, V. (2018). Blockchain and smart contracts for insurance: Is the technology mature enough? *Future Internet*, 10, 20.
- Gausdal, A. H., Czachorowski, K. V., & Solesvik, M. Z. (2018). Applying blockchain technology: evidence from Norwegian companies. *Sustainability*, 10, 1985.

- Ghauri, P. N., & Firth, R. (2009). The formalization of case study research in international business. *der markt*, 48, 29–40.
- Gilliland, M., & Ivanova, E. (2017). Ways The Blockchain Can Save The Environment and Stop Climate Change. *Future Thinkers*.
- GL, D. N. (2014). Alternative fuels for shipping. Strategic Research & Innovation position paper 1. *Alternative fuels for shipping. Strategic Research & Innovation position paper 1*.
- GL, D. N. (2015). Ship connectivity. *Strategic Research and Innovation. Position Paper*, 4–2015.
- GlobalTradeReview. (2019). Retrieved from <https://www.gtreview.com/:https://www.gtreview.com/events/europe/gtr-europe-2019/>
- Golosova, J., & Romanovs, A. (2018). The advantages and disadvantages of the blockchain technology. *2018 IEEE 6th workshop on advances in information, electronic and electrical engineering (AIEEE)*, (pp. 1–6).
- Green, E. H., Carr, E. W., Winebrake, J. J., & Corbett, J. J. (2020). Blockchain Technology and Maritime Shipping: A Primer. *US Maritime Administration*, 2020–07.
- Greenberg, A. (2019). A ‘Blockchain Bandit’Is Guessing Private Keys and Scoring Millions. *An article published on April, 23, 2019*.
- Greenspan, G. (2021, 09). Retrieved from <https://www.coindesk.com/:https://www.coindesk.com/markets/2016/04/17/why-many-smart-contract-use-cases-are-simply-impossible/>
- Grimmer. (2019). IMO 2020: Industry Conditions and Readiness. <https://stillwaterassociates.com/imo-2020-part-5-enforcement/>, 44, 145.
- Grimmer. (2019). IMO 2020: Industry Conditions and Readiness. <https://stillwaterassociates.com/imo-2020-part-5-enforcement/>, 44, 145.
- Gulati. (2009, 01 07). *Gulati, PM*. Retrieved from Business Research Methodology: <https://research-methodology.net/research-methodology/research-approach/deductive-approach-2/>

-
- Hackius, N., & Petersen, M. (2020). Translating high hopes into tangible benefits: How incumbents in supply chain and logistics approach blockchain. *IEEE access*, 8, 34993–35003. Retrieved 12 14, 2021
- Halpin, H., & Piekarska, M. (2017). Introduction to Security and Privacy on the Blockchain. *2017 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW)*, (pp. 1–3).
- Hammersley, M. (2010). *Methodology: Who needs it?* Sage.
- Hampstead, J. P. (2018). Swiss firm brings blockchain to the biopharmaceutical cold chain. <https://www.freightwaves.com/news/blockchain/skycellblockchaincoldchain>.
- Han, D., Zhang, C., Ping, J., & Yan, Z. (2020). Smart contract architecture for decentralized energy trading and management based on blockchains. *Energy*, 199, 117417.
- Handfield, R., Walton, S. V., Sroufe, R., & Melnyk, S. A. (2002). Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process. *European journal of operational research*, 141, 70–87.
- He, Q., Guan, N., Lv, M., & Yi, W. (2018). On the consensus mechanisms of blockchain/dlt for internet of things. *2018 IEEE 13th International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES)*, (pp. 1–10).
- HellenicShippingNews. (2019, 10 4). *Hellenic Shipping News* . Retrieved from <https://www.hellenicshippingnews.com>:
<https://www.hellenicshippingnews.com/bunkertrace-cooperative-bebeka-boskalis-and-minerva-conclude-successful-trial-of-blockchain-and-dna-based-marine-fuels-tracking-solution/>
- Henry, K. J., & Hogan, B. W. (2018). Insurance and Blockchain: What Policyholders Need to Know. *Bradley.*, available online at: <https://www.bradley.com/insights/publications/2018/02/insurance-andblockchain-whatpolicyholders-need-to-know>, Accessed on [01.03. 2021.].
- Hiekata, K., Wanaka, S., Mitsuyuki, T., Ueno, R., Wada, R., & Moser, B. (2021). Systems analysis for deployment of internet of things (IoT) in the maritime industry. *Journal of Marine Science and Technology*, 26, 459–469.

- Howson, P. (2020). Building trust and equity in marine conservation and fisheries supply chain management with blockchain. *Marine Policy*, 115, 103873.
- Hugoson, M.-Å. (2007). Centralized versus Decentralized Information Systems. *IFIP Conference on History of Nordic Computing*, (pp. 106–115).
- Huh, S., Cho, S., & Kim, S. (2017). Managing IoT devices using blockchain platform. *2017 19th international conference on advanced communication technology (ICACT)*, (pp. 464–467).
- Iakovleva, T., Solesvik, M., & Borch, O. J. (2020). Open Innovation in Mature Industries an Example from Maritime Industry in Norway. In *Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization* (pp. 812–819). Springer.
- IBM. (2018, 05 15). Retrieved from <https://www.ibm.com/pt-en:https://newsroom.ibm.com/2018-05-15-Veridium-to-Use-IBM-Blockchain-Technology-to-Create-Social-and-Environmental-Impact-Tokens-1>
- IBM. (2022, 04 04). <https://www.ibm.com/topics/smart-contracts>. *Smart Contracts*.
- ICS. (2020). <https://www.ics-shipping.org/>. Retrieved from International Chamber of Shipping, .
- IMO. (2015). *Maritime Transport Policy*. Retrieved from <https://www.imo.org/:https://www.imo.org/en/OurWork/TechnicalCooperation/Pages/NationalMaritimeTransportPolicy.aspx>
- IMO. (2018). IMO 2018 UN. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx>.
- IMO. (2019). DCS regulation. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Data-Collection-System.aspx>.
- IOTA. (2022, 01 09). *Next Generation Data And Value Exchange*. Retrieved from IOTA: <https://www.iota.org/get-started/what-is-iota>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar5_wgII_spm_en.pdf

-
- Jabbar, A., & Dani, S. (2020). Investigating the link between transaction and computational costs in a blockchain environment. *International Journal of Production Research*, 58, 3423–3436.
- Jabbar, K., & Bjørn, P. (2018). Infrastructural grind: Introducing blockchain technology in the shipping domain. *Proceedings of the 2018 ACM Conference on Supporting Groupwork*, (pp. 297–308).
- Jović, M., Filipović, M., Tijan, E., & Jardas, M. (2019). A review of blockchain technology implementation in shipping industry. *Pomorstvo*, 33, 140–148.
- Jović, M., Tijan, E., & Žgaljić, S. A. (2020). Disruptive Innovations in Electronic Transportation Management Systems. <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/view/483/586/918-3>.
- Jugović, A., Bukša, J., Dragoslavić, A., & Sopta, D. (2019). The possibilities of applying blockchain technology in shipping. *Pomorstvo*, 33, 274–279.
- Kalisch, M., & Bühlman, P. (2007). Estimating high-dimensional directed acyclic graphs with the PC-algorithm. *Journal of Machine Learning Research*, 8.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2020). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*, 52, 101967.
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Arha, H. (2019). Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains-Indian context. *International Journal of Production Research*, 57, 2009–2033.
- Kasireddy, P. (2017). Blockchains don't scale. Not today, at least. But there's hope. *Medium: Hackernoon*, Aug 23, 2017 [Online]. Available: <https://hackernoon.com/blockchainsdont-scale-not-today-at-least-but-there-s-hope-2cb43946551a>.
- Kawano, K., Orimo, M., & Mori, K. (1989). Autonomous decentralized system test technique. [1989] *Proceedings of the Thirteenth Annual International Computer Software & Applications Conference*, (pp. 52–57).
- Khan, M. A., & Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future generation computer systems*, 82, 395–411.

-
- Khatri, Y. (2018). Nearly 1 Billion Stolen In Crypto Hacks So Far This Year: Research. *Nearly 1 Billion Stolen In Crypto Hacks So Far This Year: Research*.
- Komathy, K. (2018). Verifiable and authentic distributed blockchain shipping framework for smart connected ships. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 15, 3275–3281.
- Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89.
- L.B.Hughes. (2019, 10 4). <https://www.bunkerspot.com/>. Retrieved from BUNKERSPOT.
- Lai, K.-h., Wong, C. W., & Lam, J. S. (2015). Sharing environmental management information with supply chain partners and the performance contingencies on environmental munificence. *International Journal of Production Economics*, 164, 445–453.
- Lam, J. S., & Wong, H. N. (2018). *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 10, 237–256.
- Lam, J. S., & Zhang, X. (2019). *Transport Policy - Innovative solutions for enhancing customer value in liner shipping*, 82, 88–95.
- Lande, S., & Zunino, R. (2018). SoK: unraveling Bitcoin smart contracts. *Principles of Security and Trust LNCS*, 10804, 217.
- Leising, M. (2017, 06 13). Retrieved from <https://www.bloomberg.com/>: <https://www.bloomberg.com/features/2017-the-ether-thief/>
- Lewis. (2018). <https://www.tradewindsnews.com/boxships/crypto-aided-box-platform-pledges-6bn-in-savings/2-1-288537>. Retrieved from <https://www.tradewindsnews.com/>
- Li, L., & Zhou, H. (2021). A survey of blockchain with applications in maritime and shipping industry. *Information Systems and e-Business Management*, 19, 789–807.
- Liu, J., Zhang, H., & Zhen, L. (2021). Blockchain technology in maritime supply chains: applications, architecture and challenges. *International Journal of Production Research*, 1–17.

-
- Loklindt, C., Moeller, M.-P., & Kinra, A. (2018). How blockchain could be implemented for exchanging documentation in the shipping industry. *International Conference on Dynamics in Logistics*, (pp. 194–198).
- Longman, N. (2017). Maersk and IBM are bringing blockchain tech to the shipping industry. *Supply Chain Digital*.
- Lozinskaia, A., Merikas, A., Merika, A., & Penikas, H. (2017). Determinants of the probability of default: the case of the internationally listed shipping corporations. *Maritime Policy & Management*, 44, 837–858.
- MacDonald. (2018). Retrieved from <https://solve.mit.edu/challenges/coastal-communities/solutions/4920/application>
- MacDonald. (2018). Retrieved from <https://solve.mit.edu/challenges/coastal-communities/solutions/4920>
- MacDonald. (2018a). *SOLVE*. Retrieved from <https://solve.mit.edu/https://solve.mit.edu/challenges/coastal-communities/solutions/4920/application>
- MacManus, R. (2018). Blockchain speeds & the scalability debate. *Blockspain, February*.
- Manupati, V. K., Schoenherr, T., Ramkumar, M., Wagner, S. M., Pabba, S. K., & Inder Raj Singh, R. (2020). A blockchain-based approach for a multi-echelon sustainable supply chain. *International Journal of Production Research*, 58, 2222–2241.
- Marinelli. (2019, jan 30). Retrieved from <https://www.morethanshipping.com/https://www.morethanshipping.com/an-overview-of-international-payments-in-shipping/>
- Maydanova, S., Ilin, I., & Lepekhin, A. (2019). Capabilities evaluation in an enterprise architecture context for digital transformation of seaports network. *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020*, (pp. 5103–5111).
- McPhee, C., & Ljutic, A. (2017). Blockchain. *Technology Innovation Management Review*, 7, 3–5.

-
- Meyer, R. (2019). <https://www.coindesk.com/markets/>. Retrieved from Coindesk: <https://www.coindesk.com/markets/2019/10/04/300cubits-a-blockchain-shipping-pioneer-gives-up-on-its-teu-token/>
- Muspratt, A. (2018). [guide-to-temperature-controlled-logistics. https://www.pharmalogisticsiq.com/packaging-shipping-systems/articles/](https://www.pharmalogisticsiq.com/packaging-shipping-systems/articles/).
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, 21260.
- Natarajan, H., Krause, S., & Gradstein, H. (2017). Distributed ledger technology and blockchain.
- Nath, I. (2016). Data exchange platform to fight insurance fraud on blockchain. *2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, (pp. 821–825).
- Niya, S. R., Jha, S. S., Bocek, T., & Stiller, B. (2018). Design and implementation of an automated and decentralized pollution monitoring system with blockchains, smart contracts, and LoRaWAN. *NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP network operations and management symposium*, (pp. 1–4).
- Ølnes, S., Ubacht, J., & Janssen, M. (2017). Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. *Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing*, 34, 355–364. Elsevier.
- Orcutt, M. (2019). Once hailed as unhackable, blockchains are now getting hacked. *Technology Review*.
- Pagnoni, A., & Visconti, A. (2010). Secure electronic bills of lading: blind counts and digital signatures. *Electronic Commerce Research*, 10, 363–388.
- Palmer, D. (2019, 05 13). Retrieved from <https://www.coindesk.com/>: <https://www.coindesk.com/markets/2019/05/17/unpatched-ethereum-clients-pose-51-attack-risk-says-report/>
- Papathanasiou, A., Cole, R., & Murray, P. (2020). The (non-) application of blockchain technology in the Greek shipping industry. *European Management Journal*, 38, 927–938.

- Park, T. (2018). Blockchain is about to revolutionize the shipping industry. *Bloomberg*, April <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-18/drowning-in-a-sea-of-paper-world-s-biggest-ships-look-for-a-way-out>, 18.
- Patel, K. K., Patel, S. M., & others. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6.
- Perry, C. (1998). Processes of a case study methodology for postgraduate research in marketing. *European journal of marketing*.
- Pop, C., Cioara, T., Antal, M., Anghel, I., Salomie, I., & Bertoncini, M. (2018). Blockchain based decentralized management of demand response programs in smart energy grids. *Sensors*, 18, 162.
- Popejov. (2019, 5 19). *TNW*. Retrieved from <https://thenextweb.com/https://thenextweb.com/podium/2019/05/05/ibms-hyperledger-isnt-a-real-blockchain-heres-why/>
- PortNews. (2020). Retrieved from <https://en.portnews.ru/>.
- PortNews. (2020, 01 22). *PN*. Retrieved from <https://en.portnews.ru/https://en.portnews.ru/news/290245/>
- PortofAntwerp. (2018, 06 18). Retrieved from <https://www.portofantwerp.com/https://www.portofantwerp.com/nl/node/29784>
- Prajogo, D., & Olhager, J. (2012). Supply chain integration and performance: The effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration. *International Journal of Production Economics*, 135, 514–522.
- Prousalidis, J., Lyridis, D. V., Dallas, S., Papaleonidas, C., Mitrou, P., Vergetis, E., . . . others. (2017). The ports as smart micro-grids: development perspectives. *Proceedings of HAEE*, 12–16.
- PSF. (2018). *Prime Shipping Foundation*. Retrieved from <https://tokenmarket.net/blockchain/ethereum/assets/prime-shipping-foundation/>
- Pu, S., & Lam, J. S. (2020). Blockchain adoptions in the maritime industry: a conceptual framework. *Maritime Policy & Management*, 1–18.

-
- Püttgen, F., & Kaulartz, M. (2017). Versicherung 4.0. *ERA Forum*, 18, pp. 249–262.
- PwC. (2017, 09). Retrieved from https://www.pwc.no/no/:https://www.pwc.no/no/publikasjoner/shipping/The-Digital-Transformation-of-Shipping_HE-NO.pdf
- Quivy, R., & Campenhoudt, L. (2013). Manual de Investigação em Ciências Sociais 6th Edition. ed. *Gradiva, Lisboa*.
- RADIX. (2021, 12 09). *RADIX*. Retrieved from <https://www.radixdlt.com/>
- RalphGrimmer. (2018). *IMO 2020 Part 5: Enforcement*. Retrieved from <https://stillwaterassociates.com:https://stillwaterassociates.com/imo-2020-part-5-enforcement/>
- ReedSmith. (2016). Electronic Bills of Lading: Another Step Forward! <https://www.reedsmith.com/en/perspectives/2016/01/electronic-bills-of-Lading-another-step-forward>.
- RegisterLloyd's. (2018, 09 05). Retrieved from <https://www.lr.org/en:https://www.lr.org/en/latest-news/unlocking-the-value-of-applying-blockchain-technology-to-maritime/>
- 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.
- Rondinelli, D., & Berry, M. (2000). Multimodal transportation, logistics, and the environment: managing interactions in a global economy. *European Management Journal*, 18, 398–410.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57, 2117–2135.
- Samaniego, M., Jamsrandorj, U., & Deters, R. (2016). Blockchain as a Service for IoT. 2016 *IEEE international conference on internet of things (iThings) and IEEE green computing and communications (GreenCom) and IEEE cyber, physical and social computing (CPSCom) and IEEE smart data (SmartData)*, (pp. 433–436).

-
- Saul, J. (2019, 05). *IMO 2020 - a major shake-up for oil and shipping*. Retrieved from <https://www.reuters.com/article/us-imo-shipping-factbox/factbox-imo-2020-a-major-shake-up-%20for-oil-and-shipping-idUSKCN1SN2BX>
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- Seatrade. (2018). <https://www.seatrade-maritime.com/>. Retrieved from Seatrade Maritime News: <https://www.seatrade-maritime.com/>
- Seuring, S., & Gold, S. (2012). Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Shin, S.-H., Kwon, O. K., Ruan, X., Chhetri, P., Lee, P. T.-W., & Shahparvari, S. (2018). Analyzing sustainability literature in maritime studies with text mining. *Sustainability*, 10, 3522. Retrieved 12 15, 2021
- ShipChain. (2020). Retrieved from <https://shipchain.io/>.
- Sikorski, J. J., Haughton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market. *Applied energy*, 195, 234–246.
- Singapore, M. a. (2018). Retrieved from Maritime and Port Authority of Singapore: <https://www.mpa.gov.sg/web/portal/home>
- Skvork, B. (2018, 05 24). *Ethereum: How Transaction Costs are Calculated*. Retrieved from <https://www.sitepoint.com/>: <https://www.sitepoint.com/ethereum-transaction-costs/>
- Sofiev, M., Winebrake, J. J., Johansson, L., Carr, E. W., Prank, M., Soares, J., . . . Corbett, J. J. (2018). Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. *Nature communications*, 9, 1–12.
- Stavroulakis, P. J., & Papadimitriou, S. (2017). Situation analysis forecasting: the case of European maritime clusters. *Maritime Policy & Management*, 44, 779–789.
- Stopford, M. (2008). Financing Ships and Shipping Companies. In *Maritime Economics 3e* (pp. 293–342). Routledge.
- Sultan, K., Ruhi, U., & Lakhani, R. (2018). Conceptualizing blockchains: characteristics & applications. *arXiv preprint arXiv:1806.03693*.
- Swan, M. (2018). Blockchain for business: Next-generation enterprise artificial intelligence systems. In *Advances in computers* (Vol. 111, pp. 121–162). Elsevier.

- Swierczewski, L. (2012). The Distributed Computing Model Based on The Capabilities of The Internet. *arXiv preprint arXiv:1210.1593*.
- Sykes, C. (2018). Time-and temperature-controlled transport: supply chain challenges and solutions. *Pharmacy and Therapeutics*, 43, 154.
- Tan, A. W., Zhao, Y., & Halliday, T. (2018). A blockchain model for less container load operations in China. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM)*, 11, 39–53.
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Penguin.
- Thomas, D. R. (2006). A general inductive approach for analyzing qualitative evaluation data. *American journal of evaluation*, 27, 237–246.
- Tijan, E., Jović, M., Aksentijević, S., & Pucihar, A. (2021). Digital transformation in the maritime transport sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120879.
- Tommasi, M., & Weinschelbaum, F. (2007). Centralization vs. decentralization: A principal-agent analysis. *Journal of public economic theory*, 9, 369–389.
- Tönnissen, S., & Teuteberg, F. (2020). Analysing the impact of blockchain-technology for operations and supply chain management: An explanatory model drawn from multiple case studies. *International Journal of Information Management*, 52, 101953.
- TradeLens. (2020). Retrieved from <https://supplychaindigital.com/https://supplychaindigital.com/technology-4/94-companies-sign-ibmmaersk-blockchain-initiative>
- tradeLens. (2021). Retrieved from <https://www.tradelens.com/>.
- TradeLens. (2022, 02).
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14, 207–222.
- Tsiulin, S. e. (2020). Blockchain-based applications in shipping and port management: a literature review towards defining key conceptual frameworks. *Review of International Business and Strategy*.

-
- UK Science, U. G. (2016). *UK Government Office for Science*. Retrieved from <https://www.gov.uk/>: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/642307/Government_Office_for_Science_Annual_Report_final_v2_16-17.pdf
- UNCTAD. (2018). *50 years of Review of Maritime Transport, 1968–2018*. Retrieved from <https://unctad.org/>: https://unctad.org/system/files/official-document/dtl2018d1_en.pdf
- Valenta, M., & Sandner, P. (2017). Comparison of ethereum, hyperledger fabric and corda. *ebook] Frankfurt School, Blockchain Center*.
- van Hoek, R. (2019). Exploring blockchain implementation in the supply chain: Learning from pioneers and RFID research. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Van Rijmenam, M., Schweitzer, J., & Williams, M.-A. (2018). A distributed future: Where blockchain technology meets organisational design and decision-making. *Academy of management proceedings. Academy of Management*. [https://doi.org/10, 5465](https://doi.org/10.5465).
- Vasconcelos, E. (1988). *Contratod de utilização do navio*. Lisboa: Livraria Petrony.
- Verhoeven, P., Sinn, F., & Herden, T. T. (2018). Examples from blockchain implementations in logistics and supply chain management: exploring the mindful use of a new technology. *Logistics*, 2, 20.
- Vujičić, S., Hasanspahić, N., Car, M., & Čampara, L. (2020). Distributed Ledger Technology as a Tool for Environmental Sustainability in the Shipping Industry. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8, 366.
- Vukolić, M. (2017). Rethinking permissioned blockchains. *Proceedings of the ACM Workshop on Blockchain, Cryptocurrencies and Contracts*, (pp. 3–7).
- Wagner, N., & Wiśnicki, B. (2019). Application of blockchain technology in maritime logistics. *DIEM: Dubrovnik International Economic Meeting*, 4, pp. 155–164.
- Walker, T. R., Adebambo, O., Feijoo, M. C., Elhaimer, E., Hossain, T., Edwards, S. J., . . . others. (2019). Environmental effects of marine transportation. In *World Seas: an environmental evaluation* (pp. 505–530). Elsevier. Retrieved 12 15, 2021

-
- Walport, M. G., & others. (2016). Distributed ledger technology: Beyond blockchain. *UK Government Office for Science*, 1, 1–88.
- Wang, X., Zha, X., Ni, W., Liu, R. P., Guo, Y. J., Niu, X., & Zheng, K. (2019). Survey on blockchain for Internet of Things. *Computer Communications*, 136, 10–29.
- Wang, Y., Han, J. H., & Beynon-Davies, P. (2019). Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Watanabe, H., Fujimura, S., Nakadaira, A., Miyazaki, Y., Akutsu, A., & Kishigami, J. J. (2015). Blockchain contract: A complete consensus using blockchain. *2015 IEEE 4th global conference on consumer electronics (GCCE)*, (pp. 577–578).
- Weernink, M. O., van den Engh, W., Fransisconi, M., & Thorborg, F. (2017). The blockchain potential for port logistics. *White Paper-Blockchain*.
- Wilson, J. (2010, 01 07). *Business Research Methodology*. Retrieved from <https://research-methodology.net/>: https://research-methodology.net/research-methodology/research-approach/deductive-approach-2/#_ftn1
- Winebrake, J. J., Corbett, J. J., Green, E. H., Lauer, A., & Eyring, V. (2009). Mitigating the health impacts of pollution from oceangoing shipping: an assessment of low-sulfur fuel mandates. *Mitigating the health impacts of pollution from oceangoing shipping: an assessment of low-sulfur fuel mandates*. ACS Publications.
- Winebrake, J., Carr, E., & Green, E. (2019). Blockchain Technology: Opportunities and Challenges for New York’s Energy Sector: Part I – Blockchain Overview. *US Maritime Administration*, 2020–07.
- Wood, M. (2019). *ledger insights*. Retrieved from <https://www.ledgerinsights.com/>: <https://www.ledgerinsights.com/bunkertrace-dna-blockchain-maritime-fuel-tracking/>
- Wu, H., Li, Z., King, B., Ben Miled, Z., Wassick, J., & Tazelaar, J. (2017). A distributed ledger for supply chain physical distribution visibility. *Information*, 8, 137.
- Wu, L., Chuang, C.-H., & Hsu, C.-H. (2014). Information sharing and collaborative behaviors in enabling supply chain performance: A social exchange perspective. *International Journal of Production Economics*, 148, 122–132.

-
- Xu, X., Pautasso, C., Zhu, L., Gramoli, V., Ponomarev, A., Tran, A. B., & Chen, S. (2016). The blockchain as a software connector. *2016 13th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA)*, (pp. 182–191).
- Xu, X., Weber, I., Staples, M., Zhu, L., Bosch, J., Bass, L., . . . Rimba, P. (2017). A taxonomy of blockchain-based systems for architecture design. *2017 IEEE international conference on software architecture (ICSA)*, (pp. 243–252).
- Yang, C.-S. (2019). Maritime shipping digitalization: Blockchain-based technology applications, future improvements, and intention to use. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *131*, 108–117.
- Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology?—a systematic review. *PloS one*, *11*, e0163477.
- Yoon, J., Talluri, S., Yildiz, H., & Sheu, C. (2020). The value of Blockchain technology implementation in international trades under demand volatility risk. *International Journal of Production Research*, *58*, 2163–2183.
- Ytterström, J., & Lenberg, L. (2019). What role will blockchain play within the maritime shipping industry in five years?
- Yu, H. C., Choi, J. W., Park, G. I., Han, S. Y., Tai, S. C., & Ha, M. K. (2008). Full Scale Measurement of a Large Container Carrier on the Far East-Europe Route. *SNAME Maritime Convention*.
- Yuan, Y., & Wang, F. Y. (2016). Current status and prospects of blockchain technology development. *Acta Automatica Sinica*, *42*, 481–494.
- Zaman, I., Pazouki, K., Norman, R., Younessi, S., & Coleman, S. (2017). Challenges and opportunities of big data analytics for upcoming regulations and future transformation of the shipping industry. *Procedia engineering*, *194*, 537–544.
- Zhang, X. (2022). The Application of Spatial Information Technology in the Rural Elderly Care Model under the Strategy of “Building a Country with a Strong Transportation Network” in China. *Transportation research procedia*, *61*, 481–486.

APÊNDICE A

Algoritmo

Um algoritmo é uma sequência extremamente precisa de instruções que, quando lida e executada por uma outra pessoa, produz o resultado esperado, isto é, a solução de um problema. Esta sequência de instruções é nada mais nada menos que um registo escrito da sequência de passos necessários que devem ser executados para manipular informações, ou dados, para se chegar na resposta do problema.

Isto serve por dois motivos: o primeiro é que através do registo fica garantido que não haverá necessidade de se redescobrir a solução quando muito tempo tiver passado e todos tiverem esquecido do problema; o outro motivo é que, às vezes, queremos que outra pessoa execute a solução, mas através de instruções precisas, de maneira que não haja erros durante o processo.

Algoritmo de Consenso

No Blockchain, o Algoritmo de consenso é utilizado para resolver o problema de confiança, ou seja, nenhum dado inserido pode ser apagado e todas as novas inserções devem ser acreditadas/validadas por todos. Para isto, deve ser utilizado uma regra (algoritmo) que rege a inclusão de novos dados.

Somente pode ser considerado que um novo bloco foi criado (minerado) caso este cumpra “também” a regra definida pelo Algoritmo de Consenso, sendo assim, o novo bloco é incluído no Blockchain, tornando os novos dados públicos.

Outro ponto importante é que a definição de um Algoritmo de Consenso faz com que as decisões sobre o que será inserido do Blockchain não dependam de nenhuma entidade centralizadora, garantindo assim a sua independência.

Também por meio destas regras, cada usuário da rede tem a capacidade de verificar a autenticidade de cada bloco contido na Blockchain e constatar por si só a autenticidade de todos os dados nele inseridos. Desta forma, ninguém precisa confiar em ninguém, pois a referida verificação faz com que cada usuário tenha a confiança na Blockchain.

Existem diversos algoritmos de consenso, os quais se pode citar:

Hash (Resumo) é qualquer algoritmo que mapeie grandes dados e de tamanho variável para pequenos dados de tamanho fixo.

PoW – Proof-of-Work (prova de trabalho): este algoritmo provoca uma competição entre os computadores ligados à Blockchain para ver quem será o primeiro a encontrar um *hash* respetivo ao novo bloco considerando a dificuldade imposta, fazendo com que os computadores com mais poder computacional tenham maiores probabilidades de “minerar” um novo bloco;

PoS – Proof-of-Stake (prova de participação): a mineração de novos blocos por este algoritmo ocorre pela votação dos participantes da rede que possuem “ativos digitais” (da Blockchain que o utiliza), onde as recompensas e o peso dos votos estão diretamente relacionados com a quantidade de ativos de cada participante;

DPoS – Delegated-Proof-of-Stake (prova de participação delegada): Este algoritmo é similar ao PoS, porém os participantes não votam diretamente se um bloco é válido ou não, ou seja, os participantes votam em Delegados e Testemunham que votarão por eles.

Blockchain

A *Blockchain* é um livro-razão compartilhado e imutável que facilita o processo de registo de transações e o rastreamento de ativos numa rede empresarial. Um ativo pode ser tangível (uma casa, um carro, dinheiro, terras) ou intangível (propriedade intelectual, patentes, direitos autorais e criação de marcas). Praticamente qualquer item de valor pode ser rastreado e negociado numa rede de blockchain, o que reduz os riscos e os custos para todos os envolvidos.

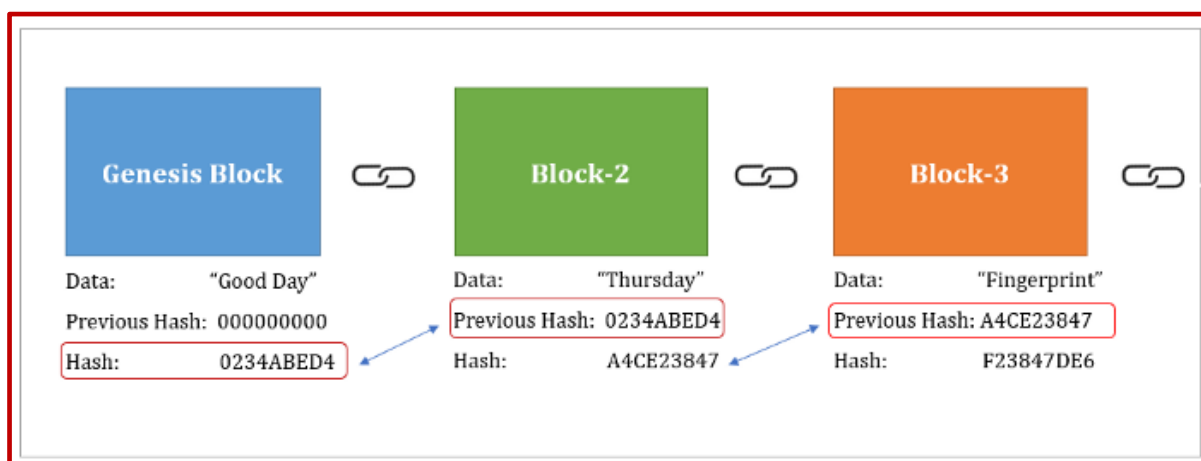
Assim, a *Blockchain* é um tipo de Base de Dados Distribuída que guarda um registo de transações permanente e à prova de violação. A base de dados blockchain consiste em dois tipos de registos: transações individuais e blocos.

Blocos e Transações

O bloco original é codificado no software e serve como o estado inicial do sistema. Ele pode conter informações sobre as regras ou instruções sobre o banco de dados restante.

Feito isto, o banco de dados é formado a partir de uma série de blocos que juntos formam uma cadeia. É deste ponto que surge o nome 'cadeia de blocos' (*blockchain*). Cada bloco na cadeia contém informação ou transações. À medida que se adicionam transações, sua informação é guardada no bloco de acordo com o momento que ela foi processada. Esta combinação de informação e tempo cria um livro-razão que documenta valor ou outros recursos no banco de dados.

Após as transações serem empilhadas no bloco, uma assinatura/carimbo ou "*hash*" é adicionada no final do bloco. O *hash* é ligado ao bloco anterior da cadeia. Estes *hashes* formam as ligações voltando entre as cadeias até chegar ao bloco gênese. O *hash* inclui o número do bloco atual e o número do próximo bloco da cadeia. Também inclui a data e o momento que foi assinado além da quantidade de transações inclusas no bloco presente. O *hash* apresenta-se como uma chave encriptografada.



Blocos numa cadeia de bloqueios ligados criptograficamente através de "*hash*".

Fonte: <https://medium.com/swlh/blockchain-characteristics-and-its-suitability-as-a-technical-solution-bd65fc2c1ad1>

Bitcoin

(símbolo: ₿; abrev ISO 4217: BTC ou XBT) é uma criptomoeda descentralizada, sendo um dinheiro eletrónico para transações ponto a ponto. O primeiro artigo descrevendo uma implementação do *Bitcoin* foi criado em 2008 sendo apresentado no começo de 2009 na lista de discussão *The Cryptography Mailing* por um programador ou grupo de programadores sob o pseudônimo *Satoshi Nakamoto*. *Bitcoin* é considerada a primeira moeda digital mundial descentralizada, constituindo um sistema económico alternativo e responsável pelo ressurgimento do sistema bancário livre.

O Bitcoin permite transações financeiras sem intermediários, mas verificadas por todos usuários (nós) da rede, que são gravadas num banco de dados distribuídos, chamado de *Blockchain*, uma rede descentralizada, isto é, uma estrutura sem uma entidade administradora central, o que torna inviável qualquer autoridade financeira ou governamental manipular a emissão e o valor da criptomoeda ou induzir a inflação com a produção de mais dinheiro. No entanto, grandes movimentos especulativos de oferta e procura influenciam na oscilação de seu valor no mercado de câmbio, sendo definido livremente durante as 24 horas do dia.

Basicamente, trata-se de um código digital, que pode ser transacionado por via eletrónica. Não tem forma física, sendo as unidades de Bitcoin criadas e rastreadas por uma rede de computadores, através de fórmulas matemáticas complexas, em vez de por uma única autoridade ou organização.

Criptografia

A Segurança virtual é a conversão de dados de um formato legível num formato codificado. Os dados criptografados só podem ser lidos ou processados depois de serem descriptografados.

A criptografia é um elemento fundamental da segurança de dados. É a forma mais simples e mais importante de garantir que as informações do sistema de um computador não sejam roubadas e lidas por alguém que deseja usá-las para fins maliciosos.

A criptografia de segurança de dados é amplamente usada por usuários individuais e grandes corporações para proteger as informações dos usuários enviadas entre um navegador e um servidor. Essas informações podem incluir de tudo, desde dados de pagamento até informações pessoais. Os *softwares* de criptografia de dados, também conhecidos como algoritmo de criptografia ou codificação, são usados para desenvolver um esquema de criptografia que teoricamente pode ser desvendado apenas com uma grande capacidade de processamento.

Como funciona a criptografia?

Quando informações ou dados são compartilhados na Internet, passam por uma série de dispositivos em rede espalhados pelo mundo que fazem parte da Internet pública. À medida que passam pela Internet pública, os dados correm o risco de serem comprometidos ou roubados por *hackers*. Para evitar isso, os usuários podem instalar um *software* ou *hardware* específico para garantir que os dados ou as informações sejam transferidos com segurança. Esses processos são conhecidos como criptografia em segurança de rede.

A criptografia envolve a conversão de texto simples legível por humanos em texto incompreensível, o que é conhecido como texto cifrado. Essencialmente, isso significa pegar dados legíveis e transformá-los de forma que pareçam aleatórios. A criptografia envolve o uso de uma chave criptográfica, um conjunto de valores matemáticos com os quais tanto o remetente quanto o destinatário concordam. O destinatário usa a chave para descriptografar os dados, transformando-os de volta em texto simples legível.

Quanto mais complexa for a chave criptográfica, mais segura será a criptografia, pois é menos provável que terceiros a descriptografem por meio de ataques de força bruta (ou seja, tentar números aleatórios até que a combinação correta seja adivinhada). A criptografia também é usada para proteger senhas. Os métodos de criptografia de senha codificam a sua senha de forma que ela fique ilegível por hackers.

Criptomoedas

Uma moeda criptográfica é uma moeda digital ou virtual que é assegurada por criptografia, o que torna quase impossível falsificar ou duplicar as despesas. Muitas moedas criptográficas são redes descentralizadas baseadas em tecnologia *Blockchain* - uma razão distribuída aplicada por uma rede díspar de computadores. Uma característica que define as moedas criptográficas é que geralmente não são emitidas por qualquer autoridade central, tornando-as teoricamente imunes à interferência ou manipulação do governo.

A *Bitcoin* foi a primeira moeda criptográfica, descrita pela primeira vez em princípio por Satoshi Nakamoto num artigo de 2008 intitulado "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*". Nakamoto descreveu o Projecto como "um sistema de pagamento eletrónico baseado em provas criptográficas em vez de confiança".

Essa prova criptográfica vem sob a forma de transações que são verificadas e registadas numa *Blockchain*

Mineração - tecnologia

Uma criptomoeda não tem forma física, existindo apenas no mundo digital. Se o dinheiro em papel é impresso por instituições como a Casa da Moeda, o processo de “confeção” de criptomoedas é chamado de mineração, e tem sido alvo recentemente de críticas devido aos seus impactos ambientais.

A mineração de criptomoedas está envolvida no *Blockchain*, sistema base para os criptoativos. O *blockchain* é formado por pedaços de códigos (os blocos), que ficam ligados entre si (a rede). É nesses blocos que ficam registadas informações, como os dados de transações de criptomoedas.

A validação de transações é o elemento que une os processos de mineração de todos os tipos de criptomoedas. Para garantir que a informação é verdadeira, o minerador precisa resolver um

algoritmo, conhecido como *algoritmo de consenso*, que então mostra uma espécie de “marca d’água” que confirma a veracidade.

Apesar disso, a mineração pode variar dependendo da criptomoeda. Hoje, a maioria delas, incluindo as duas maiores, o *bitcoin* e o *ethereum*, trabalham com o chamado “*proof of work*”.

“É um processo intensivo, computacional, que procura computadores específicos para resolver o algoritmo, que em essência é de tentativa e erro. Quanto mais computadores estiverem realizando, mais fácil de encontrar a resposta”.

Atualmente, o minerador que conseguir validar uma transação envolvendo *bitcoin* recebe, como recompensa, 6,25 bitcoins, sendo que 1 *bitcoin* vale em torno de US\$ 32 mil de acordo com a cotação em 6 de junho.

EDI

Significa **Intercâmbio Eletrônico de Dados**, e é a comunicação entre empresas de documentos comerciais num formato padrão. A definição simples de **EDI** é um formato eletrónico padrão que substitui documentos em papel, tais como ordens de compra ou faturas. Ao automatizar transações baseadas em papel, as organizações podem poupar tempo e eliminar erros dispendiosos causados pelo processamento manual.

Nas transações **EDI**, a informação passa diretamente de uma aplicação informática de uma organização para uma aplicação informática de outra. As normas **EDI** definem a localização e a ordem da informação num formato de documento. Com esta capacidade automatizada, os dados podem ser partilhados rapidamente em vez de ao longo das horas, dias ou semanas necessárias quando se utilizam documentos em papel ou outros métodos.

Atualmente, as indústrias utilizam a integração **EDI** para partilhar uma gama de tipos de documentos - desde ordens de compra a faturas, pedidos de cotações, pedidos de empréstimo e muito mais. Na maioria dos casos, estas organizações são parceiros comerciais que trocam bens e serviços frequentemente como parte das suas cadeias de fornecimento e redes business-to-business (**B2B**).

IPv4 e IPv6

São os protocolos responsáveis por identificar computadores na Internet e garantir que as informações cheguem ao destino correto. O sistema existe desde o início da rede, mas seu crescimento exponencial levou a uma situação imprevista: a existência de um número maior de dispositivos que os 4,3 milhões de endereços IP disponíveis até então.

Para resolver o problema, várias soluções temporárias foram exploradas, mas a chegada do IPv6 foi crucial para permitir uma quantidade quase infinita de endereços, além de trazer mais segurança e pacotes de dados maiores. De seguida apresento mais detalhes sobre IPv4 e IPv6 e saiba tudo sobre os diferentes protocolos utilizados atualmente.

O que é IPv4?

Desde a criação da internet, o protocolo usado até então era o IPv4, que é a sigla para Internet Protocol version 4 ou, em português, Protocolo de Internet versão 4. Possui endereços no padrão 32 bits e sustenta cerca de 4 bilhões de combinações de endereços IP em todo o mundo.

No entanto, o IPv4 não possui mais capacidade de expansão para sustentar a demanda de internet global, além de já apresentar falhas de segurança. O número de combinações possíveis do IPv4 parecia inesgotável 30 anos atrás, mas, com o crescimento constante de dispositivos conectados e o advento de tecnologias como a Internet das Coisas, essa quantidade começou a ficar escassa. É por isso que já se iniciou a migração para uma versão mais avançada: o IPv6.

O que é IPv6?

O IPv6 é, então, a versão 6 do Protocolo de Internet, com endereços no padrão 128 bits. Ou seja, trata-se do sucessor do IPv4, uma vez que o antigo protocolo não mais suporta a demanda de endereços. Atuando em 128 bits, o IPv6 suporta cerca de 340 undecilhões de endereços, contra 4 bilhões suportados pelo IPv4.

Além do maior número de combinações, o IPv6 também simplifica as atribuições de endereços e traz recursos adicionais de segurança de rede. Um exemplo é o *IP Security*, que garante autenticidade, integridade e confidencialidade por meio de criptografia, embora o IPv4 conte com *firewalls* e outros dispositivos para garantir segurança.

Quando será feita a migração do IPv4 para o IPv6?

Podemos questionar por que, então, não migrar logo para o IPv6, se ele traz todas essas melhorias? Na verdade, a mudança está em processo. O IPv6 foi proposto em 1998, então já são mais de 20 anos de andamento, a passos lentos.

Isso porque realizar a troca do IPv4 para o IPv6 exige que software e roteadores sejam alterados para suportar o avanço da rede e isso precisa de tempo e dinheiro. Então, hoje os protocolos ainda coexistem, funcionando paralelamente. Não há como prever quando o IPv6 substituirá o IPv4 por completo.

Como essa migração vai impactar os utilizadores?

Os utilizadores que atuam com o IPv4 não precisam se preocupar por enquanto, já que a migração para o IPv6 está sendo lenta. Mas é importante se atentar em relação à aquisição de equipamentos antigos. Antes de adquirir, é preciso observar se há suporte ao IPv6. Do contrário, o equipamento pode se tornar obsoleto em pouco tempo.

Agora, se a aquisição for de equipamentos novos, não há com o que se preocupar, uma vez que todos já estão sendo produzidos com compatibilidade ao novo protocolo.

Rede Peer-to-peer

De um modo geral e simples, uma rede *P2P* é uma arquitetura de computadores ou redes que compartilha tarefas, trabalho, ou arquivos entre pares (*peers*). Pares são parceiros na rede com iguais privilégios e influência no ambiente. Numa rede *P2P* cada computador ou usuário é chamado de nó e coletivamente eles compõem uma rede *P2P* de nós.

P2P na Blockchain

A rede *P2P* na *blockchain* consiste numa série de computadores e servidores onde cada um atua como um nó na rede. Quando uma nova mensagem entra na rede, a informação nesta mensagem é propagada entre todos os nós da rede *P2P*. A informação é normalmente encriptada e privada e não há como rastrear quem adicionou a informação na rede, apenas verificar sua validade.

SVN

O planeamento avançado da procura é um elemento-chave no impulso para um planeamento sem contacto - um processo autogovernado e auto-otimizador que faz uso de aplicações de automatização inteligente e de grandes dados para melhorar a velocidade a que os planos são criados, revistos e adaptados em resposta a mudanças na procura e oferta em tempo real.

Significa passar do conceito de uma cadeia de fornecimento tradicional para uma rede de valor de fornecimento, que permite o crescimento, otimizar as operações e melhorar o serviço, enquanto reduz os custos e o capital de trabalho.

Este novo modelo é mais complexo, porque envolve a gestão do fluxo de materiais, produtos, e dados entre um número crescente de parceiros do ecossistema - todos os quais devem ser coordenados para manter a estabilidade na rede - mas a complexidade não é um problema, porque as funções AI e ML dentro do modelo podem lidar com tudo isto sem problemas e sem intervenção humana.

Uma "cadeia de valor" tradicional descreve uma série de atividades de valor acrescentado desde o lado da oferta (matérias-primas, logística de entrada, processos de produção) até ao lado da procura (logística de saída, marketing, vendas). Mas é este novo conceito de "rede de valor" que liga diretamente a produção, distribuição, marketing, serviço ao cliente, etc., onde não só as disciplinas de engenharia, mas toda a empresa alargada contribui para a criação de valor para os resultados positivos.

A rede de valor está no centro da era da experiência. As indústrias já não estão confinadas a um sistema de cadeia de fornecimento "entre quatro paredes", mas podem agora gerir dinamicamente a cadeia de produção. Primeiro, a cadeia de valor físico é modelada virtualmente; depois, os processos são operados e otimizados utilizando a cadeia virtual paralela. Isto é a criação de valor de acordo com a sua utilização.

O fabrico atual é -

- *Criativo, permitindo novos modelos de negócio com uma personalização em massa rentável*
- *Inteligente, melhorando a velocidade e agilidade com aprendizagem em tempo real*
- *Valor, ligando fluxos de valor de ponta a ponta desde a ideação até ao fabrico aos consumidores*
- *Humano, potenciando a colaboração e aumentando a criatividade humana*