

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ - PUCPR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO - PPGD
MESTRADO EM DIREITO ECONÔMICO E DESENVOLVIMENTO**

EVERTON JONIR FAGUNDES MENENGOLA

***BLOCKCHAIN* COMO TECNOLOGIA DISRUPTIVA: ASPECTOS DE SUA
REGULAÇÃO E DE APLICAÇÃO NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA BRASILEIRA**

CURITIBA

2022

EVERTON JONIR FAGUNDES MENENGOLA

***BLOCKCHAIN* COMO TECNOLOGIA DISRUPTIVA: ASPECTOS DE SUA
REGULAÇÃO E DE APLICAÇÃO NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Direito Econômico e Desenvolvimento.

Linha de Pesquisa: Estado, Economia e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Gabardo

CURITIBA

2022

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Luci Eduarda Wielganczuk – CRB 9/1118

M542b 2022	<p>Menengola, Everton Jonir Fagundes <i>Blockchain</i> como tecnologia disruptiva : aspectos de sua aplicação na administração pública brasileira / Everton Jonir Fagundes Menengola ; orientador: Emerson Gabardo. – 2022. 176 f. ; 30 cm</p> <p>Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2022 Bibliografia: 154-176</p> <p>1. Direito administrativo. 2. Blockchain (Base de dados). 3. Administração pública – Inovações tecnológicas. 4. Inovações disruptivas. I. Menengola, Everton Jonir Fagundes. II. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Direito. III. Título.</p> <p>Dóris 3. ed. – 341.3</p>
---------------	--

EVERTON JONIR FAGUNDES MENENGOLA

***BLOCKCHAIN COMO TECNOLOGIA DISRUPTIVA: ASPECTOS DE SUA
REGULAÇÃO E DE APLICAÇÃO NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA BRASILEIRA***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Direito na área de concentração de Direito Econômico e Desenvolvimento e na linha de pesquisa de Estado, Economia e Desenvolvimento, da Escola de Direito da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Emerson Gabardo (Orientador)
Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR

Prof. Dr. Emerson Afonso da Costa Moura
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO

Prof. Dr. José Sérgio da Silva Cristóvam
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Curitiba, 18 de março de 2022.

Às duas maiores razões da minha vida, minha mãe Carmita e ao Cláudio, pelo amor e suporte durante toda a jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desses dois anos de mestrado, diversos foram os desafios que não chegam aos pés dos inúmeros momentos de alegria, aprendizado e, acima de tudo, amizades construídas.

Agradeço, primeiramente, à minha mãe Carmita, uma batalhadora que desde cedo me apoiou em meus objetivos profissionais e acadêmicos, mesmo que isso lhe custasse a tranquilidade e o conforto econômico. Devo todo meu sucesso a ela que com dificuldade se desdobrava em várias frentes para que eu pudesse ter uma educação de qualidade e conseguisse romper a barreira social. Minha trajetória não é diferente da de tantos brasileiros que lutam, diariamente, por um lugar de respeito na sociedade. Talvez minha história só se diferencie pelo apoio incondicional e irrestrito dela que, viúva aos 43 anos, foi meu suporte financeiro e emocional e seguiu firme no seu objetivo de superação. Vejo hoje, em seus olhos cansados, a alegria de termos vencido.

Ao meu companheiro, Cláudio, que durante esses oito anos de união tem sido meu apoio emocional, meu amigo, parceiro de viagens memoráveis e cúmplice em qualquer situação. O tempo nos tem tornado cada vez melhores e mais parecidos um com o outro. Hoje trilhamos os mesmos caminhos, partilhamos dos mesmos sonhos e dividimos a mesma paixão pela vida. Esses oito anos voaram e foram muito construtivos. Conseguimos superar todas as intempéries. O enfrentamento da pandemia de COVID-19 ao seu lado foi mais fácil, pois nossos *home offices* foram leves e as 24 horas ao seu lado foram de aprendizagem e de trocas de experiências incríveis.

Aos meus amigos, Michele, Rodrigo, Tânia, Eduardo, Katya, Beto, Heraldo, Beta, André, Priscila, Paulo, Tati e Hugo, por todo o apoio e por terem sido minha rede de proteção nesse momento tão importante da minha vida.

Sou grato, também, aos meus amigos do mestrado Danna, Pâmela, Fernanda, Mariane, Marcelo e Thiago, pelo suporte nas disciplinas e por transformarem minha jornada mais leve. Agradeço ainda a minha amiga Juliana Horn Machado Philippi, pelo aprendizado e pela troca de conhecimento que tivemos em razão da similitude do tema desenvolvido na pesquisa.

Agradeço, especialmente, ao meu orientador Prof. Dr. Emerson Gabardo, que desde o primeiro contato nunca titubeou em aceitar ser meu orientador, que com

firmeza abriu meus olhos para os compromissos e responsabilidades que adviriam dessa decisão e que possibilitou me desenvolver na academia. Professor Emerson sempre foi minha primeira e única opção de orientação, pois comungamos da mesma visão de mundo e eu o conhecia suficientemente para saber que ele faria diferença na minha vida acadêmica.

Gostaria também de agradecer ao Prof. Dr. Romeu Bacellar, que me acolheu em 2010 em seu escritório, onde até hoje advogo. Professor Romeu é um homem acolhedor, humilde, de fácil trato e de um conhecimento jurídico inigualável.

Por volta de 2009 Deus colocou na minha estrada um dos advogados mais aclamados do Paraná, Dr. Renato Andrade. Não sei se existe destino ou se as coisas acontecem por acaso, apenas sei que nossa empatia foi recíproca e, em 2010, iniciamos uma parceria profissional que dura até hoje. Dos contatos telefônicos para tratar de causas em comum e dos encontros nos corredores do Fórum Criminal surgiu uma cumplicidade e amizade que é difícil de encontrar em uma vida. Devo muito a esse profissional que me forjou na advocacia e que sempre me dá o caminho certo a ser seguido.

Foram muito importantes nessa trajetória meus amigos e colegas advogados, Bruno Aibara e Victor Costa, que foram compreensivos em relação à minha ausência no escritório, que me deram todo o suporte necessário para que eu pudesse me dedicar ao mestrado. Sem a ajuda de vocês, eu não teria conseguido.

Não menos importantes são meus amigos do escritório, Giulia Andrade, Ana Cláudia Finger, Daniel Hachem, Felipe Gussoli e Luzardo Faria, que me possibilitaram uma rica troca de ideias durante todo o decorrer do mestrado.

Por fim, agradeço à Pontifícia Universidade Católica do Paraná por todas as experiências vividas e transformações sofridas durante este período e aos meus colegas do Núcleo de Pesquisas em Políticas Públicas e Desenvolvimento Humano - NUPED, ressaltando a importância que um grupo tem na construção individual de cada um.

« Le suprême bonheur de la vie, c'est la conviction qu'on est aimé; aimé pour soi-même, disons mieux, aimé malgré soi-même » Victor Hugo.

RESUMO

A partir da perspectiva do direito fundamental ao desenvolvimento sustentável, da boa administração pública, da privacidade e do princípio da eficiência, a presente dissertação de mestrado tem como objetivo geral fazer um estudo a respeito das redes *blockchain*, com o intuito de se verificar se ela possui potencial para causar uma disrupção na Administração Pública. São objetivos específicos: analisar as diferentes estruturas das redes *blockchain*, trazendo cada uma de suas especificidades técnicas; verificar casos de aplicação bem-sucedidas das redes descentralizadas pela Administração Pública nacional; perquirir sobre a necessidade do advento de uma legislação regulatória a respeito das redes *blockchain* e DLTs no Brasil e analisar se as redes *blockchain* estão de acordo com a LGPD. Como metodologia, esta pesquisa qualitativa, de cunho descritivo, envolveu o método de abordagem hipotético-dedutivo, com a realização de uma pesquisa bibliográfica, a fim de cruzar os dados para a interpretação, fundamentando a conclusão. A pesquisa pretende responder ao seguinte problema: A rede *blockchain* guarda potencial para causar uma disrupção na gestão pública? A hipótese inicial, confirmada no decorrer da pesquisa, afirma que sim. A pesquisa conclui que tendo em vista a adequação da rede *blockchain* aos direitos fundamentais do desenvolvimento sustentável, da boa administração pública, da privacidade e do princípio da eficiência, bem como por ser tratar de tecnologia segura, vez que seus dados são imutáveis, ela possui potencial para causar uma disrupção na Administração Pública.

Palavras-chave: *Blockchain*. Desenvolvimento sustentável. Privacidade. Administração Pública. Disrupção tecnológica.

ABSTRACT

From the perspective of the fundamental right to sustainable economic development, good public administration, privacy and the principle of efficiency, this master's thesis has as general objective to make a study about *blockchain networks*, in order to verify whether it has the potential to cause a disruption in public administration. Specific objectives are: to analyze the different *structures of blockchain networks*, bringing each of their technical specificities; to verify successful application cases of decentralized networks by the national Public Administration; to inquire about the need for the advent of regulatory legislation regarding *blockchain networks* and DLTs in Brazil; and to analyze whether *blockchain networks* are in accordance with the LGPD. As a methodology, this qualitative research, of descriptive nature, involved the hypothetical-deductive approach method, with the realization of a bibliographic research, in order to cross-reference the data for interpretation, basing the conclusion. The survey aims to answer the following problem: Does *the blockchain* network have the potential to cause a public administration disruption? The initial hypothesis, confirmed in the course of the research, states that it is. The research concludes that in view of the adequacy of the blockchain network to the fundamental rights of sustainable economic development, good public administration, privacy and the principle of efficiency, as well as because it is a safe technology, since its data are immutable, it has the potential to cause a disruption in public administration.

Keywords: Blockchain. Sustainable economic development. Privacy. Public administration. Technological disruption.

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Modos de simulação.....	98
Gráfico 1 - Consumo de energia.....	98
Gráfico 2 - Processo de Consumo de energia.....	98
Gráfico 3 - Estatísticas totais de cunhagem.....	99
Gráfico 4 - Assuntos relacionados às <i>blockchains</i> discutidos no mundo no ano de 2019.....	103

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANPD	Autoridade Nacional de Proteção de Dados
ARPA	<i>Advanced Research Projects Agency</i>
ARPANET	<i>Advanced Research Projects Agency Network</i>
BACEN	Banco Central do Brasil
BB	Banco do Brasil
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CAC	<i>Command And Control</i>
CF/88	Constituição Federal de 1988
CNPJ	Cadastro de Pessoas Jurídicas
COAF	Conselho de Controle de Atividades Financeiras
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
CVM	Comissão de Valores Imobiliários
DApp	Aplicativos Descentralizados
DATAPREV	Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência
DLT	<i>Distributed Ledger Technology</i>
DPAs	<i>Deferred Prosecution Agreements</i>
DPoS	<i>Delegated Proof of Stake</i>
DUDH	Declaração Universal dos Direitos Humanos
EC	Emenda Constitucional
ENIAC	<i>Electronic Numeric Integrator and Calculator</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FCA	<i>Financial Conduct Authority</i>
Fed	Federal Reserve
FERMILAB	<i>Fermi National Accelerator Laboratory</i>
FTS	<i>Follow-the-Satoshi</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBM	<i>International Business Machines</i>
ICO	<i>Initial Coin Offering</i>

IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IoT	Internet das Coisas
ITI	Instituto Nacional de Tecnologia da Informação
KFW	Banco de Desenvolvimento do Governo da Alemanha
LCR	<i>Longest Chain Rule</i>
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
LNCC	Laboratório Nacional de Computação Científica
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MS	Ministério da Saúde
NCP	<i>Network Control Protocol</i>
NYSDFS	<i>New York State Department of Financial Services</i>
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OEA	Operador Econômico Autorizado
ONU	Organização das Nações Unidas
P2P	<i>Peer-To-Peer</i>
PbD	<i>Privacy by Design</i>
PBFT	<i>Practical Byzantine Fault Tolerance</i>
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PIB	Produto Interno Bruto
PIER	Plataforma de Integração de Informações das Entidades Reguladoras
PL	Projeto de Lei
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PoA	<i>Proof-of-Authority</i>
PoET	<i>Proof of Elapsed Time</i>
PoS	<i>Proof-of-Stake</i>
PoW	<i>Proof-of-Work</i>
RFB	Receita Federal do Brasil
RGPD	Regimento Geral de Proteção de Dados
RNDS	Rede Nacional de Dados em Saúde
RNP	Rede Nacional de Pesquisa

SALT	Sistema Alternativo de Liquidação de Transações
SCD	Sistema de Contratos Distribuídos
SEFTI	Secretaria de Fiscalização de Tecnologia da Informação
SERPRO	Serviço Federal de Processamento de Dados
SFD	Sistema Financeiro Digital
SGD	Secretaria Especial de Desburocratização, Gestão e Governo Digital
SUSEP	Superintendência de Seguros Privados
TCP/IP	Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet
TCU	Tribunal de Contas da União
TI	Tecnologia da Informação
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
TOR	<i>The Onion Router</i>
TPG	Tecnologia de Propósito Geral
TPS	Transações Por Segundo
UE	União Europeia
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

PRÓLOGO	15
INTRODUÇÃO.....	18
1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, BOA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, EFICIÊNCIA ADMINISTRATIVA E PRIVACIDADE.....	21
1.1 Do direito fundamental ao desenvolvimento sustentável.....	23
1.2 A evolução do conceito de desenvolvimento econômico.....	28
1.3 A concepção de desenvolvimento sustentável alicerçada em suas dimensões social, ambiental e econômica.....	31
1.4 Do direito fundamental à boa administração pública.....	35
1.5 Do princípio da eficiência administrativa	37
1.6 Do direito fundamental à privacidade e à proteção de dados pessoais (EC 115/2022)	39
2. AVANÇOS TECNOLÓGICOS, <i>BLOCKCHAIN</i> E SUA DISRUPÇÃO.....	45
2.1 Antecedentes da tecnologia <i>blockchain</i> : TCP/IP.....	46
2.2 Origem da <i>blockchain</i>	54
2.3 <i>Blockchain</i> e inovação: uma análise a partir da teoria da destruição criativa de Schumpeter.....	61
2.4 <i>Blockchain</i> e as Tecnologias de Propósito Geral (TPG).....	65
3. FUNCIONAMENTO DA <i>BLOCKCHAIN</i> E MECANISMOS DE CONSENSO.....	70
3.1 Rede de cadeia de blocos distribuída.....	71
3.2 Redes centralizadas <i>versus</i> descentralizadas.....	79
3.2.1 Integridade dos dados.....	82
3.2.2 Autenticação de identidade.....	83
3.2.3 Transparência e privacidade na rede.....	84
3.3 Protocolo de consenso: a tecnologia responsável pela descentralização.....	86
3.4 <i>Proof-of-Work</i> (PoW) ou Protocolo de Nakamoto.....	88

3.5	Proof-of-Stake (PoS) como protocolo alternativo mais sustentável para <i>blockchain</i>	94
4.	BLOCKCHAIN NO BRASIL: EXPERIÊNCIA, REGULAÇÃO E LGPD	100
4.1	A <i>Blockchain</i> nas organizações públicas brasileiras.....	101
4.2	Regulação da tecnologia <i>blockchain</i>	107
4.2.1	Regulação dinâmica.....	116
4.2.2	Regulação por princípios gerais.....	118
4.2.3	<i>Sandbox</i> regulatórias.....	123
4.3	Tecnologia <i>Blockchain</i> , Privacy by Design e LGPD para minimização de riscos à privacidade dos usuários.....	126
4.3.1	<i>Privacy by design</i> como forma de minimização de riscos à privacidade e de adequação de novos projetos de redes descentralizadas à LGPD	131
4.3.2	A incidência da LGPD nas redes descentralizadas	135
4.3.3	Competência territorial da LGPD e pontos de atrito com as redes blockchain/DLTs.....	136
	CONCLUSÃO	150
	REFERÊNCIAS	154

PRÓLOGO

A escolha do tema de pesquisa se deu durante o XIX Congresso Paranaense de Direito Administrativo, ocorrido no ano 2018, mais precisamente durante a conferência do prestigiado Prof. Dr. Marçal Justen Filho, que, naquele ano falou sobre o tema *blockchain* e sua possível utilização na Administração Pública, sobretudo em razão de suas características de imutabilidade de registros, o que, segundo o professor, seria um mecanismo importante para evitar práticas corruptas no âmbito público. Era um tema absolutamente novo, que pouquíssimas pessoas na área do direito conheciam, foi o que bastou para acender a luz da curiosidade e iniciar uma pesquisa mais profunda a respeito daquela tecnologia emergente.

O recorte específico do tema elegido foi verificar se o uso da tecnologia, seja em organizações privadas ou públicas, cumpria com os direitos fundamentais do desenvolvimento econômico sustentável, da boa administração Pública, da privacidade e do princípio da eficiência administrativa. A escolha desses direitos fundamentais, bem como do princípio da eficiência não foi aleatória, a ideia era perquirir se efetivamente a escolha por redes descentralizadas como a *blockchain* era segura juridicamente para a Administração Pública.

Assim, delimitado o objeto de pesquisa, escolhi me submeter ao processo de seleção da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, dentro da área de concentração “Direito Econômico e Desenvolvimento”, que busca realizar uma análise crítica da realidade brasileira contemporânea e a necessidade de parâmetros constitucionais para uma resposta racional, a fim de preservar e incentivar o desenvolvimento a partir da ideia de Estado Social. Por sua vez, a dissertação também se enquadra na linha de pesquisa “Estado, Economia e Desenvolvimento”, na medida em que ela propugna pela investigação dos mecanismos de realização de uma proposta evolutiva e estrutural de realização dos direitos sociais, implementando uma ferramenta tecnológica que pode otimizar os serviços públicos de maneira geral.

Assim, para responder a essas indagações, a presente dissertação parte da perspectiva do direito fundamental ao desenvolvimento sustentável, da boa administração pública, da privacidade e do princípio da eficiência, tendo como objetivo geral, fazer um estudo a respeito das redes *blockchain*, com o intuito de analisar as vantagens de se investir nessa nova tecnologia; destacando como objetivos específicos: analisar as diferentes estruturas das redes *blockchain*, trazendo cada

uma de suas especificidades técnicas; verificar casos de aplicação bem-sucedidas das redes *blockchain* por organizações públicas; perquirir sobre a regulação dessa nova tecnologia e analisar se as redes *blockchain* estão de acordo com a LGPD, possibilitando, dessa forma, a aplicação do direito fundamental à privacidade.

A fim de atingir os objetivos propostos, a pesquisa pretende responder ao seguinte problema: “A rede *blockchain* guarda potencial para causar uma disrupção na esfera pública?” O problema se desdobrará em saber se a tecnologia *blockchain* cumpre com os direitos fundamentais ao desenvolvimento sustentável, da boa administração pública, da privacidade e do princípio da eficiência.

Estabelece-se como hipótese inicial a legitimidade das redes *blockchain* frente a esses direitos fundamentais e ao princípio da eficiência, devendo, assim, à Administração Pública fazer investimentos nessa tecnologia.

Como metodologia, esta pesquisa qualitativa, de cunho descritivo, envolveu o método de abordagem hipotético-dedutivo, com a realização de uma pesquisa bibliográfica, a fim de cruzar os dados para a interpretação, fundamentando a pesquisa. Nesse sentido, a técnica de análise de dados a ser utilizada será análise de conteúdo através da descrição do que está contido na bibliografia para depois, através do método hipotético-dedutivo, identificar se a hipótese da pesquisa se confirma.

A fim de compor o quadro teórico-argumentativo, constituíram-se, como referências do presente estudo, os escritos dos seguintes autores: Shubhani Aggarwal, Neeraj Kumar, Carolina Aguerre, Rafael Bruno Almeida, Marc Andreessen, Jean Bacon, Renata Barros Souto Maior Baião, Marianna Belotti, Yves Besançon, Julia Black, Paulo Bonavides, Timothy Bresnahan, Manuel Trajtenberg, Fei Bu, Javier Casado Cadarso, Ruth Carter, Gary Marchant, Ann Cavoukian, Clayton Christensen, Primavera De Filippi, Richard Easterlin, Bruno Feigelson, Michèle Finck, Paul Freiburger, Michael Swaine, Emerson Gabardo, Pasquale Giungato, Teresa Guarda, Daniel Wunder Hachem, Shanshan Jiang, Celso Antônio Bandeira De Mello, Luke Henrique Mewes, Satoshi Nakamoto, Tatiana Revoredo, Joseph Alois Schumpeter, Fernando Ulrich, José Eli da Veiga, Yang Xiao, Rong Zhang, dentre outros.

Para uma abordagem completa e didática do conteúdo, a pesquisa está contemplada em 4 (quatro) capítulos. O Capítulo 1 intitulado “Desenvolvimento sustentável, administração pública, eficiência administrativa e privacidade, apresenta uma análise a respeito da possibilidade do Estado em investir em novas tecnologias,

a partir dos direitos fundamentais ao desenvolvimento econômico sustentável, da boa administração pública, da privacidade e do princípio da eficiência

No Capítulo 2 “Avanços tecnológicos, *blockchain* e sua disrupção”, é tratada a origem da tecnologia *blockchain* em todas as suas particularidades, analisando seus antecedentes, as semelhanças com a tecnologia Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet (TCP/IP), como foi idealizada, passando pelo conceito de inovação disruptiva e sua relação com o conceito de destruição criativa de Schumpeter, finalizando com a verificação se a tecnologia *blockchain* se encaixa no conceito de Tecnologias de Propósito Geral (TPG).

Já no Capítulo 3 “Funcionamento da *blockchain* e mecanismos de consenso” será detalhado o funcionamento da tecnologia *blockchain*, evidenciando suas principais características e vantagens em relação às redes tradicionais centralizadas. Neste momento, será realizada uma análise dos principais protocolos de consensos característicos das redes descentralizadas, *Proof-of-Work* (PoW) e *Proof-of-Stake* (PoS), este como uma alternativa de protocolo de consenso mais sustentável para *blockchain*.

O Capítulo 4 “*Blockchain* no Brasil: experiência, regulação e LGPD” buscará traçar um panorama de estudos e de projetos em execução que envolvam a *blockchain* na Administração Pública Brasileira e no âmbito privado, bem como discutir a necessidade de se regular a tecnologia, buscando fomentar o seu uso. Também, serão apresentadas, como métodos alternativos de regulação das novas tecnologias, a regulação dinâmica e a regulação por princípios, introduzindo-se, também, a possibilidade de utilização da *Sandbox* regulatória; a discussão é finalizada com a verificação da incidência da LGPD sobre as redes *blockchain* no Brasil.

Ao final são apresentadas as “Considerações Finais”, onde, em linhas gerais, são relatadas as conclusões do presente estudo, na tentativa de responder às questões norteadoras da pesquisa.

INTRODUÇÃO

A história mundial tem nos mostrado que as tecnologias mais avançadas têm surgido em momentos de grande tensão mundial, não por acaso, este é o período de maior investimento em desenvolvimento e pesquisa. Foi assim, com a criação dos primeiros computadores durante a II Guerra Mundial, que tinham como objetivo decifrar códigos criptografados de inimigos, com o surgimento da internet durante a Guerra Fria entre Estados Unidos e União Soviética e com a *blockchain*, após a grave crise de confiança no mercado financeiro ocorrida em 2008.

Entretanto, até 2015, a rede *blockchain* era vista apenas como a ferramenta por trás do *Bitcoin*, sem que o mercado, em geral, se importasse com a sua existência. O interesse nessa nova tecnologia passou a ser maior depois que o “*The Economist*”, em 31 de outubro de 2015, trouxe o artigo intitulado “*The trust machine: how the technology behind Bitcoin could change the world*”, como matéria de capa.¹ Desde então, as redes *blockchain* vêm ganhando cada vez mais visibilidade e aplicação em todos os setores da economia e, sobretudo, no setor público.

Já em 2016, o Banco Central do Brasil (BACEN) fazia estudos relacionados à aplicação da tecnologia em suas operações, objetivando identificar processos em que seria possível aplicar a nova tecnologia *blockchain*.² O objetivo da instituição não era substituir ou fornecer um sistema principal de liquidação, mas criar um sistema de transferência de fundos alternativo confiável para o sistema financeiro, no caso de colapso de seus servidores. Assim, a rede de contabilidade distribuída - como também são chamadas de redes *blockchain* e *Distributed Ledger Technology* (DLT) – serviria como uma rede alternativa em um cenário catastrófico de pane nos servidores do BACEN, vez que se trata de uma rede cuja principal característica é justamente não necessitar de um servidor central, já que toda a informação se encontra disseminada nos blocos da rede. Desde então, vários órgãos públicos têm realizado estudos técnicos a respeito das redes *DLTs* e *blockchain* e, em muitos casos, as aplicações já estão em pleno funcionamento.

¹ THE ECONOMIST. **The Trust Machine:** How the technology behind bitcoin could chance the world. 2015. Disponível em: <https://www.economist.com/weeklyedition/2015-10-31>. Acesso em: 29 jul. 2020.

² BRASIL. Banco Central do Brasil. **Distributed Ledger Technical Research in Central Bank of Brazil. Positioning report.** Disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/publicacoes/outras_pub_alfa/Distributed_ledger_technical_research_in_Central_Bank_of_Brazil.pdf. Acesso em: 27 jul. 2020.

Não obstante toda a tecnologia e eficiência das redes distribuídas, elas não são a solução para todos os problemas enfrentados pelo setor privado e Administração Pública. Há situações específicas para as quais as redes distribuídas não funcionam, ou pelo menos devem ser estudadas com cautela. O próprio BACEN, no estudo acima destacado, concluiu que ainda não teria conseguido encontrar uma forma de garantir a privacidade da rede, haja vista que o sistema *blockchain* deixaria visível dados financeiros sensíveis às demais instituições.

Por outro lado, há outros exemplos no setor público onde o uso das redes descentralizadas é possível e tornam os processos internos e a prestação de serviços públicos muito mais eficientes. Como exemplo pode-se citar o diário de bordo digital baseado em *blockchain* criado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) ou, então, a Rede Nacional de Dados em Saúde (RNDS) do Ministério da Saúde (MS) que busca centralizar todas as informações do prontuário médico da população em um único arquivo de *blockchain* ou, ainda, o b-CPF e o b-CNPJ da Receita Federal que objetivam compartilhar os dados do Cadastro de Pessoas Físicas (CPF) e do Cadastro de Pessoas Jurídicas (CNPJ) com os demais órgãos públicos. São dezenas de projetos em estudo e sendo executados em diversos órgãos públicos brasileiros, o que demonstra que as redes distribuídas estão ganhando espaço e revolucionando a forma como a Administração Pública atua.

O desafio que se verifica na implementação dessas tecnologias é a ausência de regulamentação estatal, o que torna a execução dos projetos mais lenta e, também, mais arriscada. Entretanto, vêm surgindo alternativas para contornar esse problema, como, por exemplo, a criação das *sandbox* regulatórias que se consubstanciam em um ambiente monitorado, onde as novas tecnologias são colocadas em funcionamento com objetivo de testar suas funcionalidades e suas vantagens para o setor público.

O advento da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), Lei nº 13.709/2018, que veio na esteira do Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD) europeu, trouxe ainda mais desafios para as redes descentralizadas. Todo o sistema de proteção de dados pessoais arquitetado pela Lei foi pensado sob a óptica dos sistemas centralizados (Cliente-Servidor), onde todas as transações são executadas pelos interessados e processadas e confirmadas por um servidor central, onde posteriormente ficam armazenadas. Diferentemente, em redes descentralizadas, tais como a *blockchain*, não há um servidor central, mas toda a cadeia de blocos funciona

como cliente e servidor ao mesmo tempo. Ou seja, a própria rede, por meio de um mecanismo de consenso, confirma a transação e cada bloco da cadeia fica com uma cópia integral do banco de dados, de forma que a informação fica toda disseminada na rede. O que parece uma vantagem sem precedentes, já que garante uma maior resiliência da rede a ataques de agentes maliciosos, dificulta, e muito, a aplicação da LGPD, como se verá de forma detalhada no Capítulo 4.

Portanto, se o cenário disruptivo das redes descentralizadas já era dificultoso por si só, a LGPD brasileira veio a torná-lo ainda mais desafiador, pois introduziu no dia a dia de empresas de tecnologias e do próprio setor público, uma série de novas obrigações legais com o intuito de preservar a intimidade e a privacidade dos cidadãos.

Como consequência, a leitura que se pretende no presente trabalho é analisar, a partir da perspectiva do direito fundamental ao desenvolvimento sustentável, da boa administração pública, da privacidade e do princípio da eficiência, se a blockchain possui potencial para causar uma ruptura na administração pública. A escolha dessas matrizes constitucionais se deu pois entende-se que antes de qualquer investimento em uma nova tecnologia, a Administração precisa fazer filtragens que concedam segurança ao investimento, a fim de minimizar ao máximo o risco do investimento.

Como se verá nos seguintes capítulos, se está diante de uma tecnologia com alto poder disruptivo, portanto, a análise que se propõe é fundamental para munir tanto o administrador público como aquele empresário inovador de subsídios legais para que assim possa ter mais segurança em seus investimentos nessa tecnologia.

1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, BOA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, EFICIÊNCIA ADMINISTRATIVA E PRIVACIDADE

Pelo menos até o ano de 2020, quando se iniciou a pandemia do *Coronavirus Disease 2019* (COVID-19) que colapsou economias por todo o mundo, era perceptível que o nível de pobreza tinha cedido em alguns países.³ Neste sentido, veja-se que, em 2014, o Brasil atingiu a meta dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) de reduzir pela metade a prevalência de subnutrição, tendo, de forma inédita, ficado fora do “Mapa da Fome”.⁴

Em relatório realizado em 2015 pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), restou destacado o crescimento econômico inclusivo, com melhores oportunidades para os pobres, aprimoramento da produtividade dos agricultores familiares e reforço da proteção social como fatores relacionados ao sucesso nessa redução. Destacou-se, também, que no Brasil houve um fortalecimento do poder aquisitivo das mulheres e melhoria da renda dos mais pobres.⁵

Entretanto, a despeito desses avanços, desde 2016, e com especial aprofundamento, a partir de 2018, observa-se um enfraquecimento e o desmonte de políticas públicas que em outra época foram responsáveis por vitórias no campo social. Este cenário contribuiu para o aumento da pobreza e a piora das condições de vida de parcela considerável da população.⁶ Pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no período de 2017 a 2018, demonstrou que a insegurança alimentar no Brasil aumentou para 36,1% e que 3,1 milhões de famílias vivenciaram a experiência da fome naquele período.⁷ A esses problemas que

³ GICO JR, Ivo T. Direito e desenvolvimento: o papel do direito no desenvolvimento econômico. **Law & Development: The Role of Law in Economic Development**, João Pessoa, v. 8, n. 2, p. 110-127, 2017.

⁴ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA FAO – BRASIL. **O estado da segurança alimentar e nutricional no Brasil 2015**. Brasília, out. 2015. Disponível em: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/FAO-countries/Brasil/docs/SOFI_Brasil_2015_final.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

⁵ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of food insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress**. Roma, 2015. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i4646e/i4646e.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021.

⁶ VASCONCELOS, Francisco de Assis Guedes de et al. Public policies of food and nutrition in Brazil: From Lula to Temer. **Revista de Nutrição**, v. 32, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/x5nRd9jQX8dZPmg8JqwrXBD/abstract/?lang=en>. Acesso em: 24 nov. 2021.

⁷ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017 – 2018: Análise da segurança alimentar no Brasil**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101749.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021.

já preocupavam somou-se, em 2020, a grave crise sanitária mundial que impactou fortemente o Brasil, ocasionando aumento de desemprego, desigualdade social e risco de crise alimentar. Em 2021, apenas 44,8% dos domicílios brasileiros tinham seus moradores em segurança alimentar. Dos 55,2% que se encontravam em insegurança alimentar, 9% conviviam com a fome, ou seja, conviviam uma insegurança alimentar grave. Este índice é ainda pior na área rural, onde alcança 12% da população. Traduzindo estas porcentagens em números, do total de 211,7 milhões de brasileiros, 116,8 milhões convivem com algum grau de insegurança alimentar e, destes, 43,4 milhões não tem alimentos em quantidade suficiente e 19 milhões enfrentam a fome.⁸

Em relação ao desemprego, no segundo trimestre de 2021, os desempregados somavam o total de 14.4 milhões de pessoas, sendo que a taxa de desemprego alcançou 14,1%.^{9 10} Estes números estão a demonstrar que, a partir de 2016, o Brasil vem sofrendo grave retrocesso social que foi fortemente agravado pelo desmantelamento de políticas sociais e pela crise sanitária causada pela COVID-19.

É preciso superar essa grave crise social, pois apenas em países onde a pobreza é superada é que a população passa a usufruir de um nível superior de conforto material e de oportunidades profissionais, além de ter mais acesso ao processo político, aos mercados, à diversidade de ideias, informação e conhecimento. O aumento dos níveis de desenvolvimento com a melhora dos indicadores sociais reflete, também, em índices mais baixos de preconceito racial, de gênero ou de orientação sexual, além de possibilitar maior liberdade econômica e profissional, em razão da oferta de oportunidades. Além disso, o desenvolvimento proporciona

⁸ REDE PENSSAN – Rede Brasileira de Pesquisa em Soberania e Segurança Alimentar e Nutricional. **Insegurança Alimentar e COVID-19 no Brasil**, 2021. Disponível em:

http://olheparaafome.com.br/VIGISAN_Inseguranca_alimentar.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

⁹ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Desemprego**. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>. Acesso em: 25 nov. 2021.

¹⁰ Segundo o IBGE, o desemprego se refere às pessoas com idade para trabalhar (acima dos 14 anos), que não possuem trabalho e estão procurando trabalho. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017 – 2018: Análise da segurança alimentar no Brasil**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101749.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021. Assim, o índice de desemprego acaba considerando apenas aquelas pessoas que estão à procura de trabalho. Nesse ponto, importante observar que a taxa de desemprego medida pelo IBGE acaba não contabilizando aquelas pessoas que, mesmo desempregadas já pararam de procurar trabalho devido o longo tempo de procura e acabam indo para a informalidade. Se for levado em consideração esse perfil de trabalhador, é possível afirmar que a taxa de desemprego é muito maior.

sistemas jurídicos mais isonômicos e estáveis, o que acaba gerando, de forma indireta, a melhora na qualidade de vida da população.

Dentre as alternativas testadas desde 1960 para alcançar o desenvolvimento estão: investimento em inovação tecnológica, políticas macroeconômicas pró-mercado e formação de capital humano. Mas tais políticas, isoladamente, não foram capazes de alcançar o objetivo do desenvolvimento. Essas experiências demonstraram que para o desenvolvimento ocorrer é preciso mais do que investir ou modificar as regras políticas de mercado. Há necessidade de um ambiente de oportunidades econômicas e de incentivos para que o empreendedor se sinta seguro para iniciar um novo negócio e assim possibilitar a geração de empregos e por consequência aumentar o consumo da população, ou seja, dar início ao círculo virtuoso do desenvolvimento.¹¹

Portanto, mesmo se tendo ciência da relevância da inovação tecnológica e do dever do Estado em investir nessas tecnologias, tem-se ciência que esse investimento é apenas um dos elementos necessários para se alcançar o desenvolvimento sustentável. O ambiente favorável e incentivador ao empreendedorismo é fundamental para que as pessoas se sintam seguras em empreender, desenvolver a economia e, principalmente, inovar de forma sustentável.

1.1 Do direito fundamental ao desenvolvimento sustentável

Uma das primeiras referências ao direito ao desenvolvimento se deu na Carta da ONU que constituiu o Estatuto da Organização das Nações Unidas, assinada em 1945, na cidade de São Francisco, onde seus membros se comprometem a favorecer níveis mais altos de vida, de trabalho efetivo e condições de progresso e desenvolvimento econômico e social.¹²

Posteriormente, o direito ao desenvolvimento foi reconhecido, pela Declaração Universal dos Direitos Humanos (DUDH) de 1948 que prevê, em seu artigo XXII, que todo homem tem direito à segurança social e à realização pelo esforço nacional dos

¹¹ GICO JR, Ivo T. Direito e desenvolvimento: o papel do direito no desenvolvimento econômico. **Law & Development: The Role of Law in Economic Development**, João Pessoa, v. 8, n. 2, p. 110-127, 2017.

¹² BEDIN, Gilmar Antônio. Direitos humanos e desenvolvimento. Algumas reflexões sobre a constituição do direito ao desenvolvimento. **Desenvolvimento em questão**, v. 1, n. 1, p. 123-149, 2003. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/752/75210107.pdf>. Acesso em 31 mar. 2022.

direitos econômicos, sociais e culturais indispensáveis à sua dignidade e ao livre desenvolvimento de sua personalidade.¹³ Em 1966, a Assembleia Geral das Nações Unidas reafirma o direito ao desenvolvimento na aprovação do Pacto Internacional dos Direitos Civis e Políticos, estabelecendo que todos os povos têm direito à autodeterminação e que em virtude disso, asseguram livremente o seu desenvolvimento econômico, social e cultural.¹⁴ A Proclamação de Teerã de 1968 também prevê expressamente o direito ao desenvolvimento, destacando que é impossível realizar os direitos civis e políticos sem o gozo dos direitos econômicos, sociais e culturais e que o progresso duradouro depende de políticas internacionais de desenvolvimento econômico e social.¹⁵

Já em 1977, a Comissão de Direitos Humanos das Nações Unidas o reconheceu como tal e, em 1981, a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), em sua Resolução nº 36/133, aprovou que o direito ao desenvolvimento é um direito humano inalienável, o que foi reiterado na Resolução nº 38/124 de 16 de dezembro de 1983. Mas foi a Resolução nº 41/128 da ONU, denominada de “Declaração sobre o Direito ao Desenvolvimento” que o deixou mais evidente.¹⁶ Segundo estabelece o artigo 1º da Resolução, o direito ao

¹³ Artigo XXII. “Todo ser humano, como membro da sociedade, tem direito à segurança social, à realização pelo esforço nacional, pela cooperação internacional e de acordo com a organização e recursos de cada Estado, dos direitos econômicos, sociais e culturais indispensáveis à sua dignidade e ao livre desenvolvimento da sua personalidade.” (ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948**. Disponível em: <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Declara%C3%A7%C3%A3o-Universal-dos-Direitos-Humanos/declaracao-universal-dos-direitos-humanos.html>. Acesso em: 09 out. 2020).

¹⁴ ONU. Organização das Nações Unidas. **Pacto Internacional dos Direitos Civis e Políticos**. 1966. Disponível em: <https://www.oas.org/dil/port/1966%20Pacto%20Internacional%20sobre%20Direitos%20Civis%20e%20Pol%C3%ADticos.pdf>. Acesso em 31 mar. 2022.

¹⁵ SPIELER, Paula Bartolini. Evolução histórica e conceituação do Direito ao Desenvolvimento. **Especial-Núcleo de Direitos Humanos**, p. 43. Disponível em: <https://revistades.jur.puc-rio.br/index.php/revistades/article/viewFile/333/305#page=43>. Acesso em 31 mar. 2022.

¹⁶ SANTOS, Flávio Augusto de Oliveira. O Desenvolvimento Nacional sustentável como Direito Fundamental à Luz da Constituição de 1988. **Revista de Direito Brasileira**, v. 1, p. 27-50, jul./dez. 2011. Disponível em:

<https://www.revistadostribunais.com.br/maf/app/resultList/document?&src=rl&srguid=i0ad82d9b000001739677c07b89121475&docguid=lb8a474200a1211e1a6a301000000000&hitguid=lb8a474200a1211e1a6a301000000000&spos=1&epos=1&td=4000&context=40&crumb-action=append&crumb-label=Documento&isDocFG=false&isFromMultiSumm=&startChunk=1&endChunk=1>. Acesso em: 28 jul. 2020. Veja também: FRIEDRICH, Denise Bittencourt; PHILIPPI, Juliana Horn Machado. Inclusão digital e blockchain como instrumentos para o desenvolvimento econômico. **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 1, n. 1, p. 97-115, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/friedrichv1n1/264>. Acesso em: 30 out. 2021.

desenvolvimento é um direito humano inalienável.¹⁷ Consoante ainda o artigo 2º, a pessoa humana é o sujeito central do desenvolvimento e deveria ser participante ativo e beneficiária do direito ao desenvolvimento.¹⁸

A Constituição Federal de 1988 (CF/88) concede um tratamento especial ao tema, vez que já no seu preâmbulo anuncia a instituição de um Estado Democrático destinado a assegurar, dentre outros, o desenvolvimento. Percebe-se que o desenvolvimento vem tratado na CF/88 de forma ampla, abrangendo todo e qualquer tipo de desenvolvimento (econômico, tecnológico, humano) e o artigo 151, inciso I, estabelece a necessidade de se promover o equilíbrio do desenvolvimento socioeconômico entre as diferentes regiões do País, de forma que, aqui, o princípio da igualdade vem como instrumento para se promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas.¹⁹

Ainda, no contexto da CF/88, é possível reconhecer a existência do direito fundamental ao desenvolvimento de forma implícita. Isso porque, por meio da cláusula de abertura material do catálogo de direitos fundamentais, artigo 5º, § 2º,²⁰ admite-se a existência de outros direitos materialmente fundamentais, decorrentes do regime e dos princípios adotados pela CF/88 e dos tratados internacionais de direitos humanos, dos quais o Brasil é signatário.²¹

Não obstante, com o objetivo de não se banalizar o catálogo de direitos fundamentais, é importante destacar que a atribuição desse *status* a direitos não inseridos formalmente no rol dos Título II (Dos Direitos e Garantias Fundamentais”) da CF/88, nem expressamente em outras partes, exige que eles ostentem conteúdo

¹⁷ Art. 1º - “O direito ao desenvolvimento é um direito humano inalienável, em virtude do qual toda pessoa e todos os povos estão habilitados a participar do desenvolvimento econômico, social, cultural e político, para com ele contribuir e dele desfrutar, no qual todos os direitos humanos e liberdades fundamentais possam ser plenamente realizados.”

¹⁸ CAMPAGNOLLI, Igor de Carvalho Leal. Modelo Constitucional do Desenvolvimento no Estado Democrático Brasileiro. **Revista de Direito Constitucional e Internacional**, p. 87-105, nov./dez. 2019.

¹⁹ FOLLONI, André. A complexidade ideológica, jurídica e política do desenvolvimento sustentável e a necessidade de compreensão interdisciplinar do problema. **Revista Direitos Humanos Fundamentais**, Osasco, ano 14, n. 1, p. 63-91, jan./jun. 2014.

²⁰ Artigo 5º, § 2º. “Os direitos e garantias expressos nesta Constituição não excluem outros decorrentes do regime e dos princípios por ela adotados, ou dos tratados internacionais em que a República Federativa do Brasil seja parte”.

²¹ SANTOS, Flávio Augusto de Oliveira. O Desenvolvimento Nacional sustentável como Direito Fundamental à Luz da Constituição de 1988. **Revista de Direito Brasileira**, v. 1, p. 27-50, jul./dez. 2011. Disponível em:

<https://www.revistadostribunais.com.br/maf/app/resultList/document?&src=rl&srguid=i0ad82d9b000001739677c07b89121475&docguid=lb8a474200a1211e1a6a301000000000&hitguid=lb8a474200a1211e1a6a301000000000&spos=1&epos=1&td=4000&context=40&crumb-action=append&crumb-label=Documento&isDocFG=false&isFromMultiSumm=&startChunk=1&endChunk=1>. Acesso em: 28 jul. 2020.

e importância que os aproximem dos direitos formalmente fundamentais e que derivem diretamente dos princípios enumerados no artigo 1º ao 4º do Título I “Dos Princípios Fundamentais”. Nesta linha, o direito ao desenvolvimento encontra ressonância em diversos valores trazidos nos princípios inseridos no Título I da CF/88, como, por exemplo a cidadania e a dignidade da pessoa humana (artigo 1º, II e III) que se traduzem em objetivos principais do desenvolvimento, principalmente pela busca de melhores condições de existência digna.²²

De igual forma, os objetivos fundamentais da República, estabelecidos nos quatro incisos do artigo 3º, reforçam a vinculação do direito ao desenvolvimento ao regime e aos princípios acolhidos pela CF/88, vez que gravam explicitamente como finalidade única do Estado brasileiro, a construção de uma sociedade livre, justa e solidária, a garantia do desenvolvimento nacional, a erradicação da pobreza e da marginalização, a redução das desigualdades sociais e regionais e a promoção do bem de todos. Como dito alhures, esses objetivos consistem em marcos jurídicos do desenvolvimento que assumem um patamar constitucional e imperativo, obrigando o legislador, o juiz e a Administração Pública a concretizá-los.²³

Se o direito ao desenvolvimento for analisado sob a óptica do Estado Social, instituído pela CF/88, pode-se considerar, como parâmetro para auferir o grau de desenvolvimento econômico do país, o cumprimento do princípio da dignidade que não se limita simplesmente pelo oferecimento de condições mínimas de vida digna, mas, sim, o dever do Estado perseguir o pleno desenvolvimento da personalidade dos indivíduos, compreendida a necessidade de oferecimento de condições que possibilitem ao povo buscar sua felicidade objetiva, abandonando a ideia de Estado subsidiário.²⁴ Para se alcançar a felicidade objetiva do povo, é fundamental reduzir as distâncias entre as diversas posições existentes na sociedade. Nesse sentido, não há dúvidas de que a ideia de desenvolvimento trazida pela CF/88 imprime um sentido

²² GOMES, Filipe Lôbo. Da conformação da maximização do bem-estar ao direito fundamental ao desenvolvimento econômico. **Direito e Desenvolvimento**, v. 8, n. 1, p. 237-254, 2017. Disponível em: <https://45.227.6.12/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/422>. Acesso em: 20 set. 2021.

²³ HACHEM, Daniel Wunder. A noção constitucional de desenvolvimento para além do viés econômico: reflexos sobre algumas tendências do Direito Público brasileiro. **A&C – Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, Belo Horizonte, ano 13, n. 53, p. 133-168, jul./set. 2013. Disponível em: <http://www.revistaaec.com/index.php/revistaaec/article/view/126>. Acesso em: 14 fev. 2022.

²⁴ GABARDO, Emerson. A felicidade como fundamento teórico do desenvolvimento em um estado social. **Revista Digital de Direito Administrativo**, v. 5, n. 1, p. 99-141, 2018, p. 106. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2319-0558.v5n1p99-141> Acesso em: 02 dez. 2021.

intimamente vinculado ao valor da igualdade que deve ser perseguido incessantemente pelo Estado.²⁵

A consagração do direito fundamental ao desenvolvimento impõe uma intervenção positiva do Estado, no sentido de garantir a todos iguais oportunidades de acesso aos meios materiais indispensáveis para que o indivíduo exerça em plenitude uma vida digna.²⁶

O desenvolvimento é um processo social global, onde as estruturas sociais dos países sofrem transformações lentas, profundas e contínuas. Não há desenvolvimento se um determinado país tem uma explosão desenvolvimentista e cessa esse processo rapidamente. Portanto, para que haja desenvolvimento é necessário um padrão seguido de expansão social e econômica, sem se descuidar da sustentabilidade, tendo em vista a finitude dos recursos naturais. Não é possível pensar em desenvolvimento sem se preocupar com a sustentabilidade, que possui sua fundamentação legal no artigo 225 da CF/88, o qual estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.²⁷

Deve-se entender o desenvolvimento econômico para além do acúmulo de capital e do crescimento do PIB, mas com uma perspectiva de possibilitar a melhora da qualidade de vida de todos os cidadãos, para que assim possam usufruir da vida em sua plenitude. Nesta perspectiva, pode-se afirmar que desenvolvimento do Estado só existe se houver, também, o desenvolvimento pessoal e de direitos fundamentais,

²⁵ HACHEM, Daniel Wunder. A noção constitucional de desenvolvimento para além do viés econômico: reflexos sobre algumas tendências do Direito Público brasileiro. **A&C – Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, Belo Horizonte, ano 13, n. 53, p. 133-168, jul./set. 2013. Disponível em: <http://www.revistaaec.com/index.php/revistaaec/article/view/126>. Acesso em: 14 fev. 2022.

²⁶ MOURA, Emerson Affonso da Costa. Estado regulador, direito humano-fundamental ao desenvolvimento e agências reguladoras. **Anuario de Derecho Constitucional Latinoamericano**, p. 57, 2017. Disponível em: http://bivicce.corteconstitucional.gob.ec/bases/biblio/texto/KONRAD/2017_ADC.pdf#page=53. Com acesso em: 07 fev. 2022.

²⁷ SCHMIDT, Albano Francisco; GONÇALVES, Oksandro Osdival. Os custos de transação derivados do desenvolvimento e aplicação dos Direitos Humanos no Brasil: uma análise breve dos gastos federais em saúde e educação. **Revista de Derechos Humanos y Estudios Sociales**, n. 14, ano VII, jul./dez. 2015. Disponível em: <http://www.derecho.uaslp.mx/Documents/Revista%20REDHES/N%C3%BAmero%2014/Redhes14-01.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.

pois o mero avanço econômico significará o avanço de poucos, deixando a grande maioria da população vivendo em um Estado carente e desigual.²⁸

Em razão disso é que a intervenção do Estado deve sempre ser utilizada como instrumento para alcançar o desenvolvimento econômico, social e sustentável. O Poder Público deve intervir sempre que houver distorções sociais e econômicas que venham a excluir parcela da população de usufruir de sua liberdade em sentido amplo e que, de alguma forma, inibam a sua busca pela felicidade. Valores como a livre iniciativa e a livre concorrência serão sempre importantes e devem ser preservados dentro dos limites e ditames constitucionais, devendo o arcabouço constitucional ser lido como um sistema que inibe exageros de um lado ou do outro.²⁹

1.2 A evolução do conceito de desenvolvimento econômico

Por muito tempo, o termo desenvolvimento econômico foi concebido como sinônimo de crescimento econômico por acúmulo de capital como o único caminho para uma maior qualidade de vida da humanidade.

Durante o século XIX, David Ricardo, baseando-se nas ideias de Adam Smith, sustentava a importância do acúmulo de riqueza, acreditando que o Estado não deveria interferir na economia para não gerar desequilíbrios e, por consequência diminuição da riqueza.³⁰ Seu contemporâneo, Karl Marx, mais crítico, entendia que o excedente do capital era gerado pela relação entre o *quantum* de riqueza disponível ao capital e a miséria da classe operária, o que o levou a concluir que o progresso no capitalismo gera antagonismo e não servia a todos.³¹

Durante o século XX, ocorreram dois grandes eventos que marcaram definitivamente o capitalismo e expuseram de forma explícita suas mazelas e principalmente o choque de classes, a Revolução Russa e a quebra da Bolsa de Valores de Nova York.

²⁸ FRIEDRICH, Denise Bittencourt; PHILIPPI, Juliana Horn Machado. Inclusão digital e blockchain como instrumentos para o desenvolvimento econômico. **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 1, n. 1, p. 97-115, jan./abr. 2020. Disponível em:

<https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/friedrichv1n1/264>. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁹ BONAVIDES, Paulo. **Curso de direito constitucional**. 14. ed. São Paulo: Malheiros, 2004, p. 570.

³⁰ RICARDO, David. **Princípios de economia política e tributação**. LeeBooks Editora, 2018. [eBook Kindle].

³¹ MARX, Karl. **Contribuição à crítica da economia política**. São Paulo: Martins Fontes, 2016. [eBook Kindle].

Foi influenciado por esses eventos que Simon Kuznetz desenvolveu um indexador de renda nacional que veio a se tornar, posteriormente, o Produto Interno Bruto (PIB). Entretanto, o próprio Kuznetz alertou que o indexador criado não poderia medir o bem-estar da população.³²

Consoante o economista Richard Easterlin destacou, em estudo realizado em 1974 sobre a economia americana, não obstante tenha ocorrido um grande aumento do PIB dos Estados Unidos da América desde a década de 1940, a percepção de satisfação e bem-estar da população se manteve inalterada, o que evidencia uma desconexão entre a geração de riqueza medida, por meio da fórmula do PIB e a felicidade da população.³³

A constituição do PIB refere-se a uma avaliação monetária de riqueza total produzida no território nacional de um determinado país, na forma de bens e de serviços de mercado ou não-mercado, durante um determinado período. Portanto, o PIB corresponde à soma de todos os bens e serviços produzidos, somando-se os impostos sobre os produtos e subtraindo-se os subsídios. Para se evitar a dupla contagem, não é adicionado ao cálculo a conta dos bens de consumo intermediários, contabilizando-se apenas os bens e serviços finais. Tome-se como exemplo um padeiro. O preço de seu pão francês não corresponde exatamente ao valor da riqueza que ele criou, pois para produzi-lo ele teve que usar outros insumos como farinha, água, fermento, sal, açúcar, produtos estes que se constituem em riqueza produzida por outros agentes econômicos. Ao final, para que se possa alcançar o valor da riqueza produzida por cada unidade produtiva, é feito o cálculo do valor adicionado bruto, ou seja, a diferença entre o valor da produção e a quantidade de bens de consumo intermediários que foi necessário para produzir o pão. Assim, juntando-se todos os valores adicionados das diversas unidades econômicas produtivas se tem o PIB.³⁴

O economista e cientista político Schumpeter foi um dos primeiros autores a criticar o conceito de crescimento econômico baseado unicamente no acúmulo de

³² KUZNETS, S. National income. **Encyclopaedia of the Social Sciences**, v. XI, p. 205-224, 1933. Disponível em: <https://www.nber.org/system/files/chapters/c2258/c2258.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

³³ EASTERLIN, Richard A. Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence. **Nations and households in economic growth**. Academic Press, p. 89-125, 1974. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780122050503500087>. Acesso em: 21 set. 2021.

³⁴ BESANÇON, Yves. L'hégémonie anachronique du PIB. **Idées économiques et sociales**, n. 3, p. 43-48, 2013. Disponível em: https://www.cairn.info/revue-idees-economiques-et-sociales-2013-3-page-43.htm?utm_source=briefeco&referrer=briefeco. Acesso em: 28 set. 2021.

riqueza. Em 1942, ele publica o seu livro “Capitalismo, Socialismo e Democracia”, onde lança dúvidas a respeito do termo desenvolvimento ser lido apenas sob o seu aspecto pecuniário de gerar capital, afirmando que o processo de desenvolvimento de um povo é um todo indivisível, sendo o estado econômico apenas uma das variantes, devendo ser levado em consideração todos os aspectos experimentados pela sociedade.³⁵

Vale destacar que o PIB ignora o nível de desigualdade na distribuição de riqueza de um país, análise que é fundamental para se aferir a coesão social existente e o grau de felicidade da população. O fato de a riqueza produzida ser distribuída de forma equitativa ou se é monopolizada por uma classe social específica, não afetará o cálculo do PIB. Também não haverá qualquer interferência em seu cálculo se a pujante indústria de um determinado país está tornando o planeta inabitável, haja vista a grande quantidade de poluentes que expelle no meio ambiente. Portanto, a grande contradição do PIB é, justamente, deixar de contabilizar os incômodos associados ao crescimento econômico.

Se está vivendo hoje um caos ambiental em razão do capitalismo predatório que não se preocupa com as consequências sociais e ambientais inerentes ao crescimento econômico. Nunca a ideia de “aldeia global” fez tanto sentido. A poluição causada pelas indústrias americanas e chinesas ou o desmatamento da Amazônia brasileira transborda suas fronteiras, causando catástrofes ambientais através de todo o globo terrestre. O cálculo do PIB, de forma isolada, está mais a aferir destruição do planeta do que a criação de riqueza, pois o crescimento econômico puro e simples, sem análise dos vetores sociais e ambientais, apenas se presta ao capitalismo predatório que não tem mais lugar na economia moderna.³⁶

A criação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), tornou sem sentido a utilização exclusiva do crescimento econômico como critério de aferição do desenvolvimento econômico das nações. Até a década de 60, não se costumava fazer a distinção entre os termos desenvolvimento e crescimento econômico, principalmente porque, até então, se tinha a percepção de que as poucas nações desenvolvidas que existiam

³⁵ SCHUMPETER, Joseph A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. LeBooks Editora, 2020. [eBook Kindle].

³⁶ BESANÇON, Yves. L'hégémonie anachronique du PIB. **Idées économiques et sociales**, n. 3, p. 43-48, 2013. Disponível em: https://www.cairn.info/revue-idees-economiques-et-sociales-2013-3-page-43.htm?utm_source=briefeco&referrer=briefeco. Acesso em: 28 set. 2021.

eram justamente aquelas que se enriqueceram pela industrialização; e, por outro lado, os países pobres eram aqueles em que a indústria não se desenvolveu. Entretanto, aos poucos, foram surgindo evidências de que a grande industrialização ocorrida na década de 1950, em países como o Brasil, por exemplo, não trouxe mais acesso à saúde, educação, melhores condições de trabalho, moradia etc. É nesse ponto de amadurecimento das ideias que se começa a discutir o real significado do termo desenvolvimento.³⁷

1.3 A concepção de desenvolvimento sustentável alicerçada em suas dimensões social, ambiental e econômica

Aliado ao fator social, houve também, durante a década de 60, uma maior percepção quanto ao aumento da degradação ambiental, momento em que se começa a questionar o poder de autorregulação e de inesgotabilidade dos recursos naturais. Em 1973, ocorreu a crise mundial do petróleo, o que fortaleceu ainda mais a ideia de desgaste das fontes não renováveis de energia. Esta conjuntura coloca em dúvida o modelo segundo o qual o desenvolvimento e o crescimento econômico aparecem como sinônimos.³⁸

Assim, surge a necessidade de um alinhamento da política ambiental com as políticas econômicas e sociais, redundando na criação da nova política verde, da década de 70, que combinava a defesa de mudanças radicais na política econômica e no comportamento social com o ativismo em torno das questões ambientais. O ativismo ambiental dessa época desafiou o consumismo capitalista e o modelo de crescimento redistributivo defendido pela socialdemocracia.³⁹ Portanto, a preocupação com a sustentabilidade surge na década de 70, juntamente com a compreensão de que os recursos naturais são finitos e que é impossível replicar

³⁷ VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2010, p. 18-19.

³⁸ SILVA, Dalvanir Avelino; NELSON, Aline Virginia Medeiros; SILVA, Maria Aparecida Ramos. Do Desenvolvimento como Crescimento Econômico ao Desenvolvimento como Liberdade: A Evolução de um Conceito. **Desenvolvimento em Questão**, v. 16, n. 42, p. 42-71, 2018. Disponível em: <https://revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/5827>. Acesso em: 14 fev. 2022.

³⁹ MEADOWS, Donella H.; RANDERS, Jorgen; MEADOWS, Dennis L. **The Limits to Growth (1972)**. New York: Universe Books, 1972. Disponível em: <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2021.

globalmente o modelo de desenvolvimento utilizado por alguns países considerados desenvolvidos, sem causar um colapso ambiental.

Nesta linha de pensamento, em 1972, foi publicado o relatório intitulado “Limites do Crescimento”, organizado pelo Clube de Roma e pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), trazendo preocupações a respeito do esgotamento dos recursos naturais.⁴⁰ Também, em 1972, foi realizada a Conferência de Estocolmo (Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano) que foi a primeira grande conferência internacional sobre meio ambiente, sob a ONU.⁴¹ A Conferência foi marcada pelo antagonismo entre as nações desenvolvidas e as em desenvolvimento, tendo estas últimas se posicionado contra concessões ambientais que limitassem seu desenvolvimento industrial e econômico, sustentando seu direito de se desenvolver e buscar um lugar no cenário econômico mundial. Não obstante a falta de consenso, a Conferência deu origem a um importante documento, a Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, que é considerado o primeiro instrumento de direito internacional que reconheceu o direito humano a um meio ambiente de qualidade, que permita ao homem viver com dignidade.⁴²

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, publicou o Relatório Brundtland, que recebeu o nome de “Nosso Futuro Comum”, sob a coordenação a Primeira-Ministra da Noruega Gro Harlem Brundtland. A partir desse documento, houve a disseminação do tema de desenvolvimento sustentável. Dentre outras questões, o Relatório Brundtland destacou que a pobreza dos países do

⁴⁰ O Clube de Roma foi formado originariamente em 1968, pelo empresário Italiano Aurelio Peccei, presidente honorário da Fiat e o cientista escocês Alexander King, que se juntaram com cerca de 20 personalidades da época para avaliar questões de ordem política, econômica e social com relação ao meio ambiente. Em 1970, em um dos encontros do Clube, Jay Forrester, professor de sistemas do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), se ofereceu para se utilizar de sistemas de informática para simular a interação do homem com o meio ambiente, tendo em conta o aumento populacional e o esgotamento dos recursos naturais. Estas análises originaram o estudo “Limites do Crescimento”. Atualmente o clube se tornou uma organização não governamental que busca identificar problemas socioambientais, discuti-los e apresentá-los ao público. (PENSAMENTO VERDE. **Clube de Roma e o relatório “Os Limites do Crescimento (1972)”**. 2014. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/clube-roma-relatorio-limites-crescimento-1972/> Acesso em: 29 jun. 2021).

⁴¹ UNITED NATIONS. **United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm Conference)**, 1972. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment>. Acesso em: 29 jun. 2021.

⁴¹ UNITED NATIONS. **Report of United Nations Conference on the Human Inviromental**, 1972. Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/CONF.48/14/REV.1. Acesso em: 29 jun. 2021.

⁴² UNITED NATIONS. **Report of United Nations Conference on the Human Inviromental**, 1972. Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/CONF.48/14/REV.1. Acesso em: 29 jun. 2021.

terceiro mundo e o elevado consumismo dos países ricos eram causas fundamentais que impediam um desenvolvimento igualitário no mundo e que causavam graves crises ambientais.⁴³

Baseando-se nos fundamentos extraídos dos Relatórios “Limites do Crescimento” (1972) do Clube de Roma e do Relatório Brundtland (1987), John Elkington, em 1994, cunhou o termo *the triple botton line*, buscando representar as três áreas componentes da sustentabilidade: social, ambiental e econômica. Posteriormente, este conceito de sustentabilidade baseado nas suas três dimensões foi adotado por diversas organizações e agências internacionais.⁴⁴ A exemplo, a Assembleia Mundial das Nações Unidas de 2005 destacou, em seu relatório final, que o desenvolvimento é um objetivo central em si mesmo e que o desenvolvimento sustentável em seus aspectos econômicos, sociais e ambiental constitui um elemento chave do quadro geral das atividades das Nações Unidas, orientando-se claramente na teoria do *triple botton line*.⁴⁵

Embora Elkington seja um consultor de negócios americano e que sua teoria tenha sido criada com o objetivo de auxiliar as empresas a otimizar o capital, empregando-o de forma mais eficiente e eficaz possível, seus conceitos foram disseminados também na área pública, sendo considerado pela academia como o criador do tripé da sustentabilidade. O pensamento de Elkington tem como premissa que o desenvolvimento deve se curvar de forma a atender às necessidades das gerações atuais, mantendo condições e oportunidades para as gerações futuras também se desenvolvam de forma sustentável. Há uma forte conexão do desenvolvimento sustentável com a gestão ambiental e equidade inter e intrageracional, havendo o reconhecimento de que os padrões de desenvolvimento

⁴³ WCED. World Comission for Environmental and Development. **Our Common Future**: Report of the World Commission for Environment and Development, WCED. New York, 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

⁴⁴ ELKINGTON, John. **Sustentabilidade, canibais com garfo e faca**. São Paulo: M. Books, 2018. [eBook Kindle]. WILSON, John P. The triple bottom line: Undertaking an economic, social, and environmental retail sustainability strategy. **International Journal of Retail & Distribution Management**, 2015. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJRDM-11-2013-0210/full/html>. Acesso em: 09 set. 2021.

⁴⁵ UNITED NATIONS. **Resolution adopted by the General Assembly on 16 September 2005**. Nova York, 2005. Disponível em: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_60_1.pdf. Acesso em: 12 set. 2021.

existentes não podem prosseguir sem comprometer os sistemas ambientais necessários para sustentar a vida e a economia das gerações futuras.⁴⁶

Assim, hoje não se justifica e deve ser afastada a tradicional ideia de medir o desenvolvimento apenas com base no PIB, pois se trata de índice marcado por visões de curto prazo que são incapazes de mensurar o desenvolvimento em toda sua dimensão. Embora tenham relevância, as medições de PIB não possuem consistência para indicar os níveis de desenvolvimento econômico, no qual deve se ter em conta a qualidade de vida, o bem-estar, qualidade ambiental e níveis de liberdades individuais.⁴⁷ A ideia de desenvolvimento baseada no crescimento econômico que é medido por meio do PIB, está mais voltada para a análise de um ciclo econômico, do que de um desenvolvimento estrutural da economia que deve se caracterizar por um processo de maior inclusão social, sob o aspecto econômico.⁴⁸

Em 2015, foi assinada, pelos países membros das Nações Unidas, a Agenda 2030 da ONU para o Desenvolvimento Sustentável; trata-se de uma declaração internacional de caráter não vinculante, mas que pretende orientar políticas de desenvolvimento a todos os países signatários. Foram traçados 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e fixando-se 169 metas que deverão ser implementadas pelos Estados, dentre elas, promover o crescimento econômico sustentável, fomentar a inovação, assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis e tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.⁴⁹

Há diversas iniciativas de desenvolvimento sustentável em diferentes setores, principalmente buscando integrar a sustentabilidade às tecnologias como IA, *Big Data*, Internet das Coisas (IoT) e *blockchain*. No que se refere à tecnologia *blockchain*, que é o tema central desse trabalho, sustenta-se que ela pode ser uma ferramenta útil

⁴⁶ HAMMER, Janet; PIVO, Gary. The triple bottom line and sustainable economic development theory and practice. **Economic Development Quarterly**, v. 31, n. 1, p. 25-36, 2017. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0891242416674808>. Acesso em: 12 set. 2021.

⁴⁷ WEDY, Gabriel de Jesus Tedesco. Desenvolvimento (Sustentável) e a ideia de Justiça em Amartya Sen. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 343-376, set./dez. 2017, p. 348. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/direitoeconomico/article/view/7616> Acesso em: 02 dez. 2021.

⁴⁸ MORETTINI, Felipe Tadeu Ribeiro; GONÇALVES, Oksandro Osdival. Análise econômica do controle judicial dos contratos de concessão e sua importância para o desenvolvimento. **Revista de Informação Legislativa**, Brasília, ano 51, n. 203, jul./set. 2014. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/51/203/ril_v51_n203_p73.pdf. Acesso em: 28 jul. 2020.

⁴⁹ UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Nova York, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 27 jun. 2021.

para otimizar questões relacionadas à sustentabilidade, por exemplo, um dos potenciais usos da tecnologia de cadeia de blocos é a rastreabilidade, o que pode ser utilizado como um trunfo para identificar condições ambientais e sociais degradantes na indústria e na agricultura. A rastreabilidade tem um papel importante para o cumprimento dos ODS 8, 9, e 12.⁵⁰ Mas, como a tecnologia *blockchain* é bastante nova, ainda há dúvidas sobre o quanto a nova tecnologia é realmente um instrumento para a sustentabilidade, notadamente em razão dos elevados dispêndios de energia vinculados à utilização da prova de trabalho (PoW) como lastro tecnológico. Sobre esse assunto, se discorrerá com maior detalhamento nos capítulos posteriores.⁵¹

Essa nova concepção de desenvolvimento sustentável arquitetada sob a óptica do tripé ambiental, social e econômico, é um dos objetivos a ser alcançado pela Administração Pública brasileira, principalmente levando-se em consideração o cumprimento do direito fundamental à boa administração pública e do princípio da eficiência administrativa, como se verá a seguir.

1.4 Do direito fundamental à boa administração pública

O investimento público em novas tecnologias, que promovam melhorias nos serviços públicos e no bem-estar da população, é um dever do Administrador Público focado no cumprimento do princípio da eficiência e no direito fundamental à boa administração pública. Não obstante o empreendedor privado tenha um papel importante no surgimento das novas tecnologias, a inovação decorre de um conjunto de fatores advindos tanto da iniciativa privada quanto da pública. O Estado precisa disponibilizar um cenário favorável e seguro para o empreendedor privado, pois não raras vezes as invenções tecnológicas falham e o empresário precisa dessa rede de proteção para superar os desacertos que fazem parte desse mercado inovador. É importante ter em mente que o desenvolvimento inovador marca, também, a

⁵⁰ Goal 8. Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all. Goal 9. Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation. Goal 12. Ensure sustainable consumption and production patterns. (UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Nova York, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 27 jun. 2021).

⁵¹ JIANG, Shanshan et al. **Blockchain and Sustainability: A Tertiary Study**. Cornell University, 31 mar. 2021 Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2103.16937>. Acesso em: 07 set. 2021. DENNY, Danielle Mendes Thame; PAULO, Roberto Ferreira; CASTRO, Douglas de. *Blockchain e Agenda 2030*. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 7, n. 3, p. 122-141, dez. 2017. Disponível em: <https://www.publicacoes.uniceub.br/RBPP/article/view/4938>. Acesso em: 27 jun. 2021.

superação de um setor da economia que é substituído por outro mais moderno e, em razão disso, o Estado deve estar presente também nesses casos, dando suporte e instrumentalizando essa transformação.⁵²

O direito fundamental à boa administração pública possui suas origens a partir de uma interpretação sistemática das normas estabelecidas na Convenção Europeia dos Direitos do Homem de 1950. Posteriormente, esse direito restou expressamente mencionado no artigo 41 da Carta de Direitos Fundamentais da União Europeia (UE) de 2000.⁵³ Em 2013, a Carta Ibero-Americana de Direitos e Deveres do Cidadão em relação com a Administração Pública desenvolveu o direito à boa administração pública com maior amplitude.⁵⁴

Embora a CF/88 não traga expressamente em seu texto o direito à boa administração pública, isso não impede o seu reconhecimento como pretensão jurídica de direito fundamental, haja vista o disposto no § 2º do artigo 5º, da CF/88, o que possibilita que sua base normativa seja extraída: a) da interpretação conjunta dos princípios fundamentais da cidadania e da dignidade da pessoa humana (artigo 1º, incisos II e III); b) dos objetivos de construção de uma sociedade livre, justa e solidária e de promoção do bem de todos (artigo 3º, II e IV); e c) dos princípios que regem à Administração Pública (artigo 37).⁵⁵

⁵² KALIL, Gilberto Alexandre de Abreu; GONÇALVES, Oksandro Osdival. Incentivos fiscais à inovação tecnológica como estímulo ao desenvolvimento econômico: o caso das Start-ups. **Revista Jurídica da Presidência**, Brasília, v. 17, n. 113, p. 497-520, out. 2015; jan. 2016.

⁵³ Carta dos Direitos Fundamentais da UE de 2000. Artigo 41. O Direito a uma boa administração 1. Todas as pessoas têm direito a que os seus assuntos sejam tratados pelas instituições e órgãos da União de forma imparcial, equitativa e num prazo razoável. 2. Este direito compreende, nomeadamente: o direito de qualquer pessoa a ser ouvida antes de a seu respeito ser tomada qualquer medida individual que a afete desfavoravelmente, o direito de qualquer pessoa a ter acesso aos processos que se lhe refiram, no respeito dos legítimos interesses da confidencialidade e do segredo profissional e comercial, a obrigação, por parte da administração, de fundamentar as suas decisões. 3. Todas as pessoas têm direito à reparação, por parte da Comunidade, dos danos causados pelas suas instituições ou pelos seus agentes no exercício das respectivas funções, de acordo com os princípios gerais comuns às legislações dos Estados-Membros. 4. Todas as pessoas têm a possibilidade de se dirigir às instituições da União numa das línguas oficiais dos Tratados, devendo obter uma resposta na mesma língua. (PARLAMENTO EUROPEU. **Carta dos Direitos Fundamentais da União Europeia**. 2000. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:12016P/TXT&from=FR>. Acesso em: 20 jan. 2022).

⁵⁴ MILKES, Irit S. Buena administración y la motivación de los actos administrativos expedidos em ejercicio de facultades discrecionales. **Revista Digital de Derecho Administrativo**, n. 21, p. 153-178, nov. 2018. Disponível em: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/5703>. Acesso em: 02 dez. 2021.

⁵⁵ HACHEN, Daniel Wunder; TELLO, Diana Carolina Valencia. Reflexiones sobre el derecho fundamental a la buena administración pública en el derecho administrativo brasileiro, **Revista digital de Derecho Administrativo**, Universidad Externado de Colombia, n. 21, p. 47-75, 2019, p. 47-75. Disponível em: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/5700/7360>. Acesso em: 02 dez. 2021.

Pode-se afirmar que a boa administração pública é uma administração que é focada no interesse público, que pratica seus atos administrativos com base na transparência, com racionalidade e de forma fundamentada.⁵⁶ O direito fundamental à boa administração pública busca agrupar todo o conjunto de direitos que os cidadãos possuem em relação à Administração Pública, tendo como objetivo final garantir a aplicação plena dos direitos fundamentais e, ao mesmo tempo, reinterpretar os poderes dos administradores públicos nos Estados democráticos de Direito.⁵⁷ Nas palavras de Juarez Freitas, trata-se de um direito fundamental à administração pública caracterizado por ser eficiente, eficaz, proporcional, transparente, sustentável, imparcial e respeitoso à moralidade administrativa, à participação social e à plena responsabilidade por suas condutas.⁵⁸

O direito fundamental à boa administração pública deve orientar o administrador público em suas decisões, servindo como contrapeso ao poder discricionário que, em muitas vezes, é utilizado de forma abusiva.⁵⁹

1.5 Do princípio da eficiência administrativa

Entende-se que o princípio da eficiência administrativa permeia toda a administração pública brasileira, funcionando como matriz para os direitos fundamentais, dentre eles o direito fundamental à boa administração pública e ao desenvolvimento econômico sustentável.⁶⁰

A Administração Pública Brasileira tem sido regida pelo princípio da eficiência desde o advento da Emenda Constitucional (EC) nº 19/1998, também conhecida como

⁵⁶ SCOBAR, David A. Ortiz; BELTRÁN, Sérgio Ordonez. Buena administración, transparencia y eficiencia: evidencia de los municipios de Colombia. **Revista digital de Derecho Administrativo**, Universidad Externado de Colombia, n. 21, p. 179-199, 2019. Disponível em: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/5704>. Acesso em: 02 dez. 2021.

⁵⁷ HACHEN, Daniel Wunder; TELLO, Diana Carolina Valencia. Reflexiones sobre el derecho fundamental a la buena administración pública en el derecho administrativo brasilero, **Revista digital de Derecho Administrativo**, Universidad Externado de Colombia, n. 21, p. 47-75, 2019, p. 47-75. Disponível em: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/5700/7360> Acesso em: 02 dez. 2021.

⁵⁸ FREITAS, Juarez. **Direito Fundamental à Boa Administração Pública**. 3. ed. São Paulo: Malheiros, 2014, p. 21.

⁵⁹ MILKES, Irit S. Buena administración y la motivación de los actos administrativos expedidos em ejercicio de facultades discricionales. **Revista Digital de Derecho Administrativo**, n. 21, p. 153-178, nov. 2018. Disponível em: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/5703> Acesso em: 02 dez. 2021.

⁶⁰ DUQUE, Marcelo Schenk. **Curso de Direitos Fundamentais: teoria e prática**. São Paulo: RT, 2014, p. 235.

reforma administrativa.⁶¹ Não obstante, desde a sua origem a Constituição Federal explicitamente já determinava que os Poderes Legislativo, Executivo e Judiciário deveriam ser eficientes no desempenho de suas funções.⁶²

O princípio constitucional da eficiência administrativa impõe à Administração Pública um dever de atuar célere, ágil, econômico e produtivo, sempre que a ordem jurídica lhe conceda um feixe de atribuições.⁶³ Neste sentido, o conteúdo jurídico do conceito de eficiência é o mesmo do seu conceito econômico, ou seja, diz respeito ao aproveitamento ótimo dos recursos de produção, produzir mais com os mesmos recursos. O propósito pelo qual o princípio da eficiência foi positivado pela EC nº 19/1998, foi deixar claro que o Estado brasileiro deveria ser mais eficiente, ou seja, produzir mais e melhores serviços públicos a custos menores.⁶⁴

Não se pode esperar outra resposta do Estado a não ser um agir eficiente, seja na oferta de serviços aos cidadãos, na aquisição de bens e serviços ou no manejo de verbas públicas. É preciso um atuar qualificado do administrador público, de forma que seus atos otimizem os mandamentos constitucionais. O princípio da eficiência deve ser sempre analisado de forma conjunta com os demais princípios constitucionais que regem a Administração Pública. Pode-se dizer que apenas será eficiente o ato administrativo que, além de cumprir com a economicidade, respeite os

⁶¹ GABARDO, Emerson. Princípio da eficiência. **Enciclopédia jurídica da PUC-SP**. Celso Fernandes Campilongo, Alvaro de Azevedo Gonzaga e André Luiz Freire (coords.). Tomo: Direito Administrativo e Constitucional. Vidal Serrano Nunes Jr., Maurício Zockun, Carolina Zancaner Zockun, André Luiz Freire (coord. de tomo). 1. ed. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2017. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/82/edicao-1/principio-da-eficiencia>. Acesso em: 14 out. 2021.

⁶² Art. 74. Os Poderes Legislativo, Executivo e Judiciário manterão, de forma integrada, sistema de controle interno com a finalidade de:

(...) *omissis*. II - Comprovar a legalidade e **avaliar os resultados, quanto à eficácia e eficiência, da gestão orçamentária**, financeira e patrimonial nos órgãos e entidades da administração federal, bem como da aplicação de recursos públicos por entidades de direito privado; (...) *omissis*. (sem grifos no original).

⁶³ HACHEM, Daniel Wunder; GABARDO, Emerson. El principio constitucional de eficiencia administrativa: contenido normativo y consecuencias jurídicas de su violación. **Revista Mexicana de Derecho Constitucional**, n. 39, p. 131-167, jul./dez. 2018. Disponível em: <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/cuestiones-constitucionales/article/view/12652>. Acesso em: 03 dez. 2021.

⁶⁴ LANIUS, Danielle Cristina; JUNIOR, Ivo Teixeira Gico; STRAIOTTO, Raquel Maia. O princípio da eficiência na jurisprudência do STF. **Revista de Direito Administrativo**, v. 277, n. 2, p. 107-148, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328646880_O_principio_da_eficiencia_na_jurisprudencia_do_STF. Acesso em 14 fev. 2022.

princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade e publicidade, todos estabelecidos no Art. 37, da Constituição Federal.⁶⁵

Com efeito, vale ressaltar que uma das funções do princípio da eficiência é controlar a discricionariedade administrativa.⁶⁶ Nesse sentido, a lei sempre impõe ao administrador um comportamento ótimo, ou seja, quando a lei concede alguma discricionariedade, ela o faz porque não aceita outra conduta que não seja aquela capaz de satisfazer excelentemente a finalidade legal e os mandamentos constitucionais. Do que se conclui que, em casos de discricionariedade, o administrador está obrigado a uma solução ótima dentre as possibilidades apresentadas, pois a lei não se resigna a uma boa solução, mas, sim, a ótima dentre as possíveis.⁶⁷

1.6 Do direito fundamental à privacidade e à proteção de dados pessoais (EC 115/2022)

O texto constitucional brasileiro não menciona expressamente o termo “privacidade”, entretanto o Art. 5º, inciso X da Constituição Federal, faz menção expressa à inviolabilidade da intimidade, vida privada, honra e imagem das pessoas. A defesa da intimidade aparece ainda no inciso LX do Art. 5º e no inciso IX, do Art. 93, quando se trata da possibilidade de restrição da publicidade dos atos judiciais.⁶⁸

⁶⁵ GABARDO, Emerson. A Flexibilização da Legalidade mediante o Prestígio de uma Ideia Equivocada de Eficiência e uma Visão Niilista da Separação dos Poderes. In: HACHEM, Daniel Wunder; GABARDO, Emerson; SALGADO, Eneida Desiree (Coords.). *Direito Administrativo e Suas Transformações Atuais – Homenagem ao professor Romeu Felipe Bacellar Filho. Anais do Seminário da Faculdade de Direito da Universidade Federal do Paraná*. Curitiba: Íthala, 2016, p. 214. Veja também: MENENGOLA, Everton. A tecnologia *blockchain* nos processos da administração Pública. In: AMORIN, José de Campos; VEIGA, Fábio da Silva; AZEVEDO, Patrícia Anjos (coords). *Desafios do Legaltech*. Porto: Iberojur e Instituto de Contabilidade e Administração do Porto. 2020, p. 379-389. Disponível em: https://www.academia.edu/44394475/DESAFIOS_DO_LEGALTECH. Acesso em: 14 fev. 2022.

⁶⁶ LANIUS, Danielle Cristina; JUNIOR, Ivo Teixeira Gico; STRAIOTTO, Raquel Maia. O princípio da eficiência na jurisprudência do STF. *Revista de Direito Administrativo*, v. 277, n. 2, p. 107-148, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328646880_O_principio_da_eficiencia_na_jurisprudencia_d_o_STF. Acesso em 14 fev. 2022.

⁶⁷ MELLO, Celso Antônio Bandeira de. *Discricionariedade e controle jurisdicional*. 2. ed. 12ª tiragem. São Paulo: Malheiros, 2017, p. 32-37.

⁶⁸ NETO, Eugênio Facchini; DEMOLINER, Karine Silva. Direito à Privacidade e Novas Tecnologias: Breves Considerações Acerca da Proteção de Dados Pessoais no Brasil e na Europa. *Revista Internacional Consinter De Direito*, Ano IV–Número VII, v. 7, 2019. Disponível em: <https://revistaconsinter.com/es/revistas/ano-iv-numero-vii/direitos-difusos-coletivos-e-individuais-homogeneos/direito-a-privacidade-e-novas-tecnologias-breves-consideracoes-acerca-da-protecao-de-dados-pessoais-no-brasil-e-na-europa/>. Acesso em: 25 jan. 2022.

Os primeiros estudos a respeito de privacidade foram publicados em 1890, por Warren e Brandeis no artigo intitulado *the right to privacy*, onde a privacidade foi entendida como o direito a não intrusão, o direito a não ser perturbado ou de ser deixado só.⁶⁹ Essa ideia de privacidade, fundamenta o direito do indivíduo de estar livre de intrusões públicas não autorizadas, sendo que a privacidade passou a ser considerada um importante instrumento para garantir o próprio exercício da liberdade. Não obstante a importância histórica da contribuição de Warren e Brandeis, trata-se de um conceito estabelecido em um momento histórico no qual a popularização da imprensa escrita passou a gerar preocupações quanto a divulgação de informações pessoais relativas a algumas pessoas públicas, que faziam parte de uma minoria da população da época.⁷⁰ Portanto, o conceito de privacidade desenvolvido à época buscava, sobretudo, a defesa de uma minoria que nem de longe representava a inteireza da população, motivo pelo este conceito não demorou a ser superado.

Posteriormente, sobreveio uma segunda noção a respeito de privacidade, no sentido de exclusão, mais precisamente, o direito de excluir outras pessoas de seu convívio e de se viver isolado, se assim desejar.⁷¹ Evoluindo-se ainda mais no conceito, a privacidade passou a ser definida como limitação, no sentido de que o acesso à informação dos indivíduos poderia ser limitado ou restringido.⁷²

Em uma visão mais moderna, entende-se privacidade como o direito de controlar a maneira pela qual os demais utilizam as informações a respeito dos indivíduos, no sentido de proteção das escolhas de vida contra qualquer forma de controle público e estigma social. Ninguém deve ser simplificado, objetivado e avaliado fora de contexto e cada indivíduo tem o direito de manter o controle sobre suas próprias informações. Com a disseminação das TICs a partir dos anos 60, que

⁶⁹ BRANDEIS, Louis. WARREN, Samuel. The Right to Privacy. **Harvard Law Review**, v. IV, December 15, 1980, n. 5. Disponível em: http://groups.csail.mit.edu/mac/classes/6.805/articles/privacy/Privacy_brand_warr2.html. Acesso em: 25 jan. 2022.

⁷⁰ SALGADO, Eneida Desiree; SAITO, Vitoria Hiromi. Privacidade e proteção de dados: por uma compreensão ampla do direito fundamental em face da sua multifuncionalidade. *International Journal of Digital Law*, Belo Horizonte, ano 1, n. 3. p. 117-137, set./ dez. 2020. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/saito2020/25>. Acesso em: 26 jan. 2022.

⁷¹ NETO, Eugênio Facchini; DEMOLINER, Karine Silva. Direito à Privacidade e Novas Tecnologias: Breves Considerações Acerca da Proteção de Dados Pessoais no Brasil e na Europa. **Revista Internacional Consinter De Direito**, Ano IV–Número VII, v. 7, 2019. Disponível em: <https://revistaconsinter.com/es/revistas/ano-iv-numero-vii/direitos-difusos-coletivos-e-individuais-homogeneos/direito-a-privacidade-e-novas-tecnologias-breves-consideracoes-acerca-da-protecao-de-dados-pessoais-no-brasil-e-na-europa/>. Acesso em: 25 jan. 2022.

⁷² GAVISON, Ruth. Privacy and the Limits of Law. **The Yale law journal**, v. 89, n. 3, p. 421-471, 1980. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/795891>. Acesso em: 25 jan. 2022.

levou ao aumento exponencial da possibilidade de colher e tratar dados pessoais, o conceito de privacidade restou ampliado para proteger também os dados e informações pessoais disseminados na rede internacional de computadores.⁷³

Atualmente, o direito à privacidade decorre exclusivamente do livre desenvolvimento da personalidade da pessoa humana, sendo um direito que socorre todos os seres humanos desde o seu nascimento, estando ligado as condições de existência e de individualidade. Nessa perspectiva, o direito à privacidade comportaria três aspectos que garantem a exclusividade do indivíduo, a solidão (desejo de estar só); o segredo (dever de confidencialidade ou sigilo); e a autonomia (liberdade de decidir sobre si mesmo como centro irradiador de informações).⁷⁴

A reclusão, ou o desejo de estar só é uma necessidade de todo homem, o que o faz se centrar e buscar muitas vezes restabelecer sua saúde mental. Sem a privacidade, não há condições de se desenvolver livremente a personalidade. A exposição incessante de erros, dificuldades pessoais e fracassos, inibiria o ser humano de buscar a superação.⁷⁵ O direito fundamental à privacidade diz respeito ao indivíduo excluir do conhecimento alheio tudo aquilo que só a ele interessa e que diz respeito a sua natureza, modo de ser.⁷⁶

Enquanto bem da personalidade humana, o direito à privacidade garante à pessoa natural a concretização do princípio da exclusividade, segundo o qual o indivíduo deve ser capaz de possibilitar o resguardo daquelas informações íntimas e privadas, sobretudo sobre aspectos que poderiam ser motivo de discriminação. Entretanto, o princípio da exclusividade que vem gravado no direito à privacidade não é absoluto, sendo que sua reinvidicação deverá sempre observar os princípios gerais

⁷³ NETO, Eugênio Facchini; DEMOLINER, Karine Silva. Direito à Privacidade e Novas Tecnologias: Breves Considerações Acerca da Proteção de Dados Pessoais no Brasil e na Europa. **Revista Internacional Consinter De Direito**, Ano IV–Número VII, v. 7, 2019. Disponível em: <https://revistaconsinter.com/es/revistas/ano-iv-numero-vii/direitos-difusos-coletivos-e-individuais-homogeneos/direito-a-privacidade-e-novas-tecnologias-breves-consideracoes-acerca-da-protecao-de-dados-pessoais-no-brasil-e-na-europa/>. Acesso em: 25 jan. 2022.

⁷⁴ DE MORAIS, Leonardo Stoll. DIREITO À PRIVACIDADE NO SISTEMA REGIONAL INTERAMERICANO E EUROPEU DE DIREITOS HUMANOS. **Revista de Direito Brasileira**, v. 25, n. 10, p. 200-220, 2020. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/rdb/article/view/3902>. Acesso em: 26 jan. 2022.

⁷⁵ MENDES, Gilmar Ferreira. Curso de Direito Constitucional. 13 ed. São Paulo, Saraiva Educação, 2018, p. 285.

⁷⁶ JÚNIOR, Tércio Sampaio Ferraz. Sigilo de dados: o direito à privacidade e os limites à função fiscalizadora do Estado. **Revista da Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo**, v. 88, p. 439-459, 1993. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rfdusp/article/view/67231>. Acesso em: 26 jan. 2022.

presentes nas relações jurídicas, sobretudo o dever de solidariedade social, sob pena de se legitimar um direito ao egoísmo.⁷⁷

No que se refere à proteção de dados, se considerarmos como parte de um direito fundamental à inviolabilidade da comunicação de dados, ela já vem estabelecida no contexto constitucional brasileiro desde a Constituição de 1988, (Art. 5, XII).⁷⁸ Inclusive, o Constituinte originário instituiu um instrumento constitucional próprio para garantir ao cidadão o exercício desse direito (Art. 5º, LXXII)⁷⁹, possibilitando o conhecimento do conteúdo das informações, bem como eventual retificação de informações inexatas.⁸⁰

Como forma de garantir o cumprimento ao direito fundamental à liberdade, privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural, foi promulgada no Brasil a Lei 13.709/2018, Lei Geral de Proteção de Dados, que busca, ainda, criar uma padronização de regulamentos e práticas para promover a proteção dos dados pessoais de todo cidadão que esteja no Brasil, gerando uma maior segurança jurídica.

Recentemente, o sistema de proteção aos dados pessoais ganhou mais robustez com a promulgação pelo Congresso Nacional da Emenda Constitucional nº 115 de 10 de fevereiro de 2022, que inclui a proteção de dados pessoais entre os direitos e garantias fundamentais estabelecidos no Art. 5º, da Constituição Federal,

⁷⁷ DE MORAIS, Leonardo Stoll. DIREITO À PRIVACIDADE NO SISTEMA REGIONAL INTERAMERICANO E EUROPEU DE DIREITOS HUMANOS. **Revista de Direito Brasileira**, v. 25, n. 10, p. 200-220, 2020. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/rdb/article/view/3902>. Acesso em: 26 jan. 2022

⁷⁸ “Art. 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes: (...) *omissis*. XII - é inviolável o sigilo da correspondência e das comunicações telegráficas, de dados e das comunicações telefônicas, salvo, no último caso, por ordem judicial, nas hipóteses e na forma que a lei estabelecer para fins de investigação criminal ou instrução processual penal;”

⁷⁹ Art. 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes: (*omissis*). LXXII - conceder-se-á “*habeas-data*”: a) para assegurar o conhecimento de informações relativas à pessoa do impetrante, constantes de registros ou bancos de dados de entidades governamentais ou de caráter público; b) para a retificação de dados, quando não se prefira fazê-lo por processo sigiloso, judicial ou administrativo;” (*omissis*)

⁸⁰ CRISTÓVAM, José Sérgio da Silva; HAHN, Tatiana Meinhart. Administração Pública orientada por dados: Governo aberto e infraestrutura nacional de dados abertos. **Revista de Direito Administrativo e Gestão Pública**, v. 6, n. 1, p. 1-24, 2020. Disponível em: <https://indexlaw.org/index.php/rdagp/article/view/6388/pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

bem como estabelece a competência material e legislativa da União para tratar sobre a proteção e o tratamento de dados pessoais.⁸¹

Assim, a partir da promulgação da EC nº 115, a proteção de dados pessoais passa a ter estatura de um direito fundamental expresso na Constituição Federal, tratando-se, portanto, de uma cláusula pétreia, que não pode se revogada ou restringida, nem mesmo por emenda constitucional posterior, nos termos do Artigo 60, § 4º, IV, da Constituição Federal.

Além disso, a novel EC define a competência constitucional do STF para em competência originária ou recursal, apreciar questões relacionadas à proteção de dados pessoais, quando houver violação direta de direito fundamental. Nesse sentido, faz-se importante destacar que em 2020, o Supremo Tribunal Federal já havia declarado a proteção de dados como um direito fundamental implícito na CF, baseando-se no direito fundamental à privacidade.⁸² O entendimento se deu no bojo da ADI 6387, proposta contra a Medida Provisória nº 954/2020 que impunha às empresas de telefonia fixa e móvel o dever de compartilhar com o IBGE a relação dos nomes, dos números de telefone e dos endereços de seus consumidores, pessoas físicas e jurídicas, para permitir a manutenção da produção estatística oficial durante a emergência de saúde pública decorrente da COVID-19.⁸³

O capítulo que se segue apresentará as origens da tecnologia *blockchain*, sua natureza, usos de peculiaridades técnicas. Este capítulo, apesar de possuir alguns aspectos técnicos de difícil apreensão, é de extrema importância para se compreender

⁸¹ “Art. 1º O caput do art. 5º da Constituição Federal passa a vigorar acrescido do seguinte inciso LXXIX: Art. 5º (*omissis*). LXXIX - é assegurado, nos termos da lei, o direito à proteção dos dados pessoais, inclusive nos meios digitais. (...) *omissis*. Art. 2º O caput do art. 21 da Constituição Federal passa a vigorar acrescido do seguinte inciso XXVI: Art. 21. (*omissis*). XXVI - organizar e fiscalizar a proteção e o tratamento de dados pessoais, nos termos da lei. (NR). Art. 3º O caput do art. 22 da Constituição Federal passa a vigorar acrescido do seguinte inciso XXX: Art. 22. (*omissis*). XXX - proteção e tratamento de dados pessoais. (BRASIL. EC Nº 115 de 10 de fevereiro de 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc115.htm. Acesso em: 14 fev. 2022.)

⁸² SANTOS, Josilenni de Alencar Fonseca. **A proteção de dados como um direito fundamental no Brasil: uma análise da sua fundamentalidade material para a construção de uma estrutura dogmática**. 100 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Brasileiro De Ensino, Desenvolvimento E Pesquisa (IDP). Teresina, PI. 2021. Disponível em: <http://191.232.186.80/handle/123456789/3351>. Acesso em: 14 fev. 2022.

⁸³ BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **ADI 6.387/DF**, Rel. Min. Rosa Weber, j. 07/05/2020. Disponível em: <http://portal.stf.jus.br/processos/downloadPeca.asp?id=15344949214&ext=.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

a tecnologia e, ao final, propiciar a conclusão de que se trata de uma tecnologia apta para utilização pelo Estado Brasileiro, principalmente pela necessidade de cumprimento dos direitos fundamentais do desenvolvimento sustentável, da boa administração pública e do princípio da eficiência administrativa.

2. AVANÇOS TECNOLÓGICOS, *BLOCKCHAIN* E SUA DISRUPÇÃO

Pode-se afirmar que até o momento ocorreram três grandes avanços tecnológicos no mundo, a saber: a Primeira Revolução Industrial que aconteceu na Grã-Bretanha no período aproximado de 1760 a 1840, onde foi introduzida a máquina hidráulica a vapor nas fábricas; a Segunda Revolução Industrial que se iniciou por volta de 1850 e terminou durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), tendo se caracterizado pela fabricação de produtos em linhas de montagem e pelo uso das primeiras técnicas de automação, levando as pessoas a uma era de consumo de produtos em massa e a Terceira Revolução Industrial, iniciada por volta de 1950, que contou com uma ampla utilização de tecnologias eletrônicas e de informação, bem como do aprimoramento das técnicas de automação dos processos fabris.⁸⁴ A produtividade industrial cresceu enormemente neste período, principalmente pelo grande uso de circuitos lógicos digitais e de computadores integrados aos sistemas de automação industrial.⁸⁵

Atualmente, estamos experimentando a “Quarta Revolução Industrial” que deu ênfase ao aprimoramento das capacidades industriais através da intensificação do uso das novas tecnologias, sobretudo da digitalização e de sistemas inteligentes desenvolvidos, por meio da Tecnologia da Informação (TI), tudo com objetivo de otimizar a produção, facilitar a troca de dados, atualizações em tempo real e uma maior interação entre o homem e a máquina.

Uma das principais características da Indústria 4.0 é a facilitação da interação em tempo real entre máquinas, dispositivos digitais, transações com as diferentes partes interessadas, incluindo fornecedores, compradores e clientes. A IoT tornou essa interação possível e, agora, a *blockchain* promete tornar essa comunicação mais segura.⁸⁶

⁸⁴ LI, Guoping; HOU, Yun; WU, Aizhi. Fourth Industrial Revolution: technological drivers, impacts and coping methods. **Chinese Geographical Science**, v. 27, n. 4, p. 626-637, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11769-017-0890-x>. Acesso em: 14 fev. 2022.

⁸⁵ BOJANOVA, Irena. The Digital Revolution: What's on the Horizon? **IT Professional**, v. 16, n. 1, p. 8-12, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6756877>. Acesso em: 14 fev. 2022.

⁸⁶ UPADHYAY, Arvind et al. Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, p. 126130, 15 abr. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621003504>. Acesso em: 08 set. 2021.

Desde a introdução do primeiro computador da *International Business Machines* (IBM) em 1975, passando pela difusão da internet em 1993, a tecnologia tornou-se parte da vida das pessoas, trazendo uma verdadeira revolução digital. Mais recentemente (2008), a criação do *Bitcoin*, instrumentalizado pela *blockchain*, pode ser considerada o alcance de um outro nível na escalada do processo de evolução tecnológica, pois trata-se de uma rede descentralizada, que não está conectada ou é dependente de qualquer servidor central, o que traz várias vantagens quando comparada com às redes tradicionais.⁸⁷ Instituições privadas e públicas do mundo todo estão implementando *blockchain* e utilizando a tecnologia de livros-razão distribuídos para revolucionar a forma de como a informação é armazenada e transacionada.

2.1 Antecedentes da tecnologia *blockchain*: TCP/IP

Não há como pensar em sistemas inteligentes, IoT, big data, *blockchain*, sem vincular e fazer um paralelo com o desenvolvimento da tecnologia do TCP/IP, utilizado amplamente para acesso à rede internacional de computadores atualmente e o verdadeiro facilitador de todas essas aplicações. As redes mudaram os padrões de comunicação e têm afetado grandemente o comportamento da sociedade graças a uma maior popularização de seu uso que possibilita uma rápida disseminação de informações, troca de dados e de mensagens interpessoais. Em razão disso, antes mesmo de se falar as especificidades a respeito da *blockchain*, o que se fará no próximo tópico, faz-se importante estudar o surgimento da internet e as suas semelhanças técnicas com a *blockchain*, para que, assim, se tenha uma pequena noção geral do estágio de desenvolvimento da nova tecnologia, bem como das barreiras que ainda podem ser quebradas com o seu desenvolvimento e uso massificado.

Pode-se dizer que o TCP/IP abriu os caminhos para a *blockchain*, pois como se tornou onipresente, as aplicações *blockchain* estão sendo construídas sobre a sua infraestrutura digital de dados, comunicação e computação, o que potencialmente reduz o custo da experimentação e que permitirá que novos casos de uso surjam

⁸⁷ GIUNGATO, Pasquale et al. Current trends in sustainability of bitcoins and related blockchain technology. *Sustainability*, v. 9, n. 12, p. 2214, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/12/2214>. Acesso em: 07 set. 2021.

rapidamente. O TCP/IP levou anos para ser aceito, enfrentando barreiras de toda sorte, tendo em vista a complexidade técnica e social envolvida. Acredita-se que com a *blockchain* não será diferente e que muitos desafios estão pela frente, até que a tecnologia esteja madura suficiente para sua utilização em massa e, até quem sabe, chegar a substituir em certa medida o TCP/IP.⁸⁸

Em seus primórdios, a tecnologia TCP/IP possuía o nítido objetivo de descentralização de dados, tal como hoje a *blockchain*, pois buscava-se com o desenvolvimento da internet uma livre troca de informações e dados entre os usuários a um nível global, de forma a eliminar as barreiras territoriais e sociais, o que, até então, dificultava o pleno desenvolvimento da humanidade, vez que impedia o compartilhamento de conhecimento.⁸⁹

Assim como o TCP/IP, a *blockchain* sinaliza uma nova era da internet que, agora, será definida por valor e não por informação. Assim como o TCP/IP, a *blockchain* foi projetada para ser descentralizada e, da mesma forma como a internet, também possui camadas que são definidas pelo protocolo aberto interoperável, onde empresas e pessoas físicas podem construir produtos e serviços.⁹⁰

Para além dessas similitudes técnicas, TCP/IP e *blockchain* possuem origens e propósitos muito semelhantes, fortalecendo ainda mais o entendimento de que a rede descentralizada veio para ficar, não sendo apenas uma *hype*, como alguns críticos à tecnologia têm afirmado. Para se sustentar esse ponto de vista, nada melhor que analisar os acontecimentos históricos, que falam por si.

A história tem nos mostrado que as tecnologias mais avançadas têm surgido em momentos de grande tensão mundial, não por acaso, este é o período de maior investimento em desenvolvimento e pesquisa. Foi assim, com a criação dos primeiros computadores durante a II Guerra Mundial, que tinham como objetivo decifrar códigos criptografados de inimigos.

⁸⁸ LAKHANI, Karim R.; IANSITI, M. The truth about blockchain. **Harvard Business Review**, v. 95, n. 1, p. 119-127, 2017. Disponível em: <https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain>. Acesso em: 29 set. 2021.

⁸⁹ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized blockchain technology and the rise of *lex cryptographia*. **Available at SSRN 2580664**, 2015. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2580664. Acesso em: 22 out. 2021. Sobre o propósito da internet e sua similitude com os objetivos da blockchain vale consultar: W3C. World Wide Web Consortium. **W3C Mission**. Disponível em: <https://www.w3.org/Consortium/mission>. Acesso em: 08 nov. 2021.

⁹⁰ POPA, Mihaela. Drawing parallels between TCP/IP and the blockchain. **Blockchain Works**, 2021. Disponível em: <https://blockchain.works-hub.com/learn/Drawing-Parallels-between-TCP-IP-and-the-Blockchain>. Acesso em: 06 out. 2021.

Nos Estados Unidos, por exemplo, a Marinha, em conjunto com a Universidade de Harvard e a IBM, construiu em 1944 o Mark I, um protótipo gigante de computador, que ocupava 120m³ e que levava 3 (três) segundos para fazer uma multiplicação de dez dígitos. O Professor Howard Aiken, da Universidade de Harvard, é um dos criadores do Mark I e, a partir de 1937, traçou planos detalhados para uma série de quatro máquinas de calcular de sofisticação crescente, com base em diferentes tecnologias, desde o Mark I, em grande parte mecânico, até o Mark IV eletrônico.⁹¹ Em segredo, o exército americano, durante o mesmo período, também desenvolvia o seu computador. Os engenheiros John Presper Eckert e John Mauchly e seus colegas da *Moor School of Electrical Engineering* da Universidade da Pensilvânia lideraram o projeto do *Electronic Numeric Integrator and Calculator* (ENIAC) que era financiado pelo governo americano para construir um computador totalmente eletrônico. O ENIAC foi o primeiro computador digital eletrônico programável de uso geral criado.⁹²

De igual forma, no auge da Guerra Fria, durante os anos de 1950, a pesquisa a respeito dos computadores avançou, passando-se a idealizá-los como ferramentas de comunicação e controle de informações. Foi nesse período que as redes de informação começam a ser desenvolvidas, vindo a culminar com a criação do TCP/IP.⁹³

O auge da Guerra Fria ocorreu por volta do final da década de 1950. Neste período, o mundo passou a assistir uma acirrada corrida espacial com liderança isolada dos soviéticos que, já em 1957, lançaram o satélite Sputnik I. Não satisfeitos com o avanço da União Soviética, os Estados Unidos criaram a *Advanced Research Projects Agency* (ARPA) que se tratava de uma agência militar de pesquisas, apoiada no discurso de colocar os Estados Unidos na vanguarda da tecnologia.⁹⁴

O Dr. Joseph Carl Robnett Licklider foi chamado para gerenciar a agência e chamou para o projeto um grupo de especialistas em computação que apelidou carinhosamente de “rede intergaláctica”. O Dr. Licklider foi um dos primeiros a

⁹¹ FREIBERGER, Paul A.; SWAINE, Michael R. "Harvard Mark I". **Encyclopedia Britannica**, 2014. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/Harvard-Mark-I>. Acesso em: 8 out. 2021.

⁹² FREIBERGER, Paul A.; SWAINE, Michael R. "ENIAC". **Encyclopedia Britannica**, 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/ENIAC>. Acesso em: 8 out. 2021.

⁹³ CARVALHO, Marcelo Sávio Revoredo Menezes de. **A trajetória da Internet no Brasil: do surgimento das redes de computadores à instituição dos mecanismos de governança**. 2006. 239 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006, p. 06. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/1430748034.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.

⁹⁴ O'NEILL, Judy E. The Role of ARPA in the Development of the ARPANET, 1961-1972. **IEEE Annals of the History of Computing**, v. 17, n. 4, p. 76-81, 1995. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/477437>. Acesso em 14 fev. 2022.

perceber o espírito de comunidade que havia entre os usuários dos primeiros sistemas de compartilhamento de tempo e de dados, tendo buscado facilitar a realização de interconexão das comunidades interativas on-line de pessoas. O espírito de comunidade estava relacionado ao interesse de Licklider em que os computadores ajudassem as pessoas a se comunicarem, transformando os computadores em um verdadeiro dispositivo de comunicação. A sua visão de criação de uma “rede intergaláctica” para comunicação entre usuários, por mais megalomaniaca que pudesse parecer para a época, trouxe uma importante mudança de conceito na ciência da computação. Assim, quando da criação da ARPA, se percebeu que sua principal missão era ajudar a comunicação humana, sendo seu avanço tecnológico mais fundamental, não obstante sua missão inicial de segurança nacional.⁹⁵

Não obstante tenha anunciado a ideia de criação de uma rede de computadores, Licklider deixou a ARPA em 1964, tendo sido substituído por Ivan Sutherland (pesquisador em computação do MIT que, um ano mais tarde, foi substituído por Robert Taylor (psicólogo experimental que viera da NASA). Em 1966, sob o comando de Taylor, iniciou-se um projeto para interligar diferentes computadores das instituições financiadas e esse foi o pontapé inicial para a criação da *Advanced Research Projects Agency Network* (ARPANET), a rede de computadores da ARPA.⁹⁶ Portanto, o ARPANET passou a ser o principal projeto da ARPA, com o objetivo de possibilitar a interação entre usuários e máquinas e tornar possível a troca de informações, por meio de uma rede de dados.⁹⁷

O protocolo de comunicação da ARPA, que inicialmente, foi chamado de *Network Control Protocol* (NCP), foi criado por volta de 1972 e estabeleceu as bases para que se chegasse ao atual nível de desenvolvimento da internet. A NCP foi utilizada como base para o correio eletrônico entre os pesquisadores da ARPANET. Esta rede foi criada como resposta a um possível ataque nuclear da União Soviética e objetivava criar uma rede tolerante a falhas que permitisse aos líderes militares dos

⁹⁵ HAUBEN, Michael. History of ARPANET. **Site de l'Instituto Superior de Engenharia do Porto**, v. 17, 2007. Disponível em: <https://www.jbcoco.com/Arpa-Arpanet-Internet.pdf>. Acesso em 14 fev. 2022.

⁹⁶ CARVALHO, Marcelo Sávio Revoredo Menezes de. **A trajetória da Internet no Brasil: do surgimento das redes de computadores à instituição dos mecanismos de governança**. 2006. 239 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006, p. 10-11. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/1430748034.pdf> Acesso em: 01 out. 2021.

⁹⁷ O'NEILL, Judy E. The Role of ARPA in the Development of the ARPANET, 1961-1972. **IEEE Annals of the History of Computing**, v. 17, n. 4, p. 76-81, 1995. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/477437>. Acesso em 14 fev. 2022.

EUA manter contato em caso de ataque nuclear. As várias limitações do NCP, principalmente no que se refere à escalabilidade, levaram os engenheiros da ARPA a desenvolver uma nova linguagem de rede. Assim, em 1974, Vint Cerf e Bob Kahn publicaram um artigo a respeito de um novo protocolo de rede, o qual foi denominado TCP/IP que viria a substituir o NCP. O TCP/IP é um conjunto de regras que possuem características de rapidez, escalabilidade e eficiência e que define como dois computadores se reconhecem e enviam dados um para o outro. Da mesma forma como as pessoas precisam definir uma linguagem para se comunicarem (português, francês, inglês etc.), os computadores também precisam optar por um conjunto de regras para se entenderem de forma eficiente.⁹⁸

Uma das principais inovações tecnológicas criadas durante o estudo de desenvolvimento das redes é a técnica de comutação de pacotes (*packet switching*), que possibilita que a informação seja dividida em pequenos pacotes antes de ser enviada, sendo que cada pacote possui o endereço de origem e de destino, viajando de forma independente pela rede, podendo tomar rotas diferentes para chegar até o destino, onde são reordenados e checados e a informação é reconstituída. Essa tecnologia possibilita que vários usuários compartilhem um mesmo canal de comunicação.⁹⁹ Assim, se um determinado pacote de dados for muito grande, o TCP/IP, por meio da técnica de *packet switching*, divide a mensagem em vários pacotes e garante que todos eles cheguem ao seu destinatário.¹⁰⁰

Em 1977, a ARPANET fez a primeira demonstração de funcionamento do TCP/IP, envolvendo simultaneamente conexão via satélite e rádio. Nessa demonstração, os pacotes de dados deram voltas de mais de 150 mil km entre as três redes, sem perder qualquer informação. A demonstração incluiu computadores nos EUA e Europa, além de outro instalado em um automóvel em movimento pelas estradas de São Francisco, Califórnia. Com o sucesso da operação, a internet, de fato, estava funcionando.¹⁰¹

⁹⁸ BLANK, Andrew G. **TCP/IP Foundations**. San Francisco: Sybex, 2008. [eBook Kindle].

⁹⁹ CARVALHO, Marcelo Sávio Revoredo Menezes de. **A trajetória da Internet no Brasil: do surgimento das redes de computadores à instituição dos mecanismos de governança**. 2006. 239 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006, p. 11. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/1430748034.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.

¹⁰⁰ BLANK, Andrew G. **TCP/IP Foundations**. San Francisco: Sybex, 2008. [eBook Kindle].

¹⁰¹ CARVALHO, Marcelo Sávio Revoredo Menezes de. **A trajetória da Internet no Brasil: do surgimento das redes de computadores à instituição dos mecanismos de governança**. 2006. 239 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006, p. 24-25. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/1430748034.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.

No Brasil, os primeiros contatos com a internet foram realizados por meio da comunidade acadêmica. Ainda, em 1988, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ligada à Secretaria Estadual de Ciência e Tecnologia, realizou a primeira conexão à rede através de uma parceria com o Fermi National Accelerator Laboratory (FERMILAB), um dos mais importantes centros de pesquisa científica dos Estados Unidos. Na mesma época, a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) em Petrópolis, também se conectaram à internet através de *links* com universidades americanas.¹⁰²

Em 1989 era a vez do Governo Federal iniciar o seu caminho (sem volta) pela rede internacional de computadores, com a criação da Rede Nacional de Pesquisa (RNP) pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Neste período, foram criados vários pontos de conexão, distribuídos pelas principais capitais do país, concedendo acesso à internet para universidades, fundações de pesquisa e órgãos governamentais. Mas foi durante a ECO-92 que a internet demonstrou todo o seu potencial e teceu definitivamente a sua teia no Brasil. Durante o evento foi montado um sistema de veiculação de informações eletrônicas para acompanhar o andamento dos debates. Foi a primeira vez que a internet foi acessada além das dependências das universidades, tendo sido este, portanto, o grande evento precursor da internet para a sociedade civil no Brasil. Para se ter uma ideia do tamanho sucesso que as novas tecnologias fizeram no Brasil nos anos 90, destaque-se que, já em 1995, a venda de computadores ultrapassava o número de televisores e o consumo de linhas telefônicas aumentou gradualmente até a explosão observada após privatizações em 1998.¹⁰³

Antes do TCP/IP, a arquitetura de telecomunicação era baseada em “comutação de circuito”, onde as conexões entre duas partes ou máquinas tinham que ser preestabelecidas e sustentadas durante uma troca de dados, o que levou os

¹⁰² GABARDO, Emerson; MENENGOLA, Everton. La universalización del acceso a internet como presupuesto para la implementación de los procesos administrativos electrónicos. In CASTILLO, Luiz Ferny Moreno; APONTE, William Iván Gallo; VALLE, Vivian Cristina Lima López (coords). **Tecnología, Administración pública y regulación**, p. 295-316, 2021. Disponível em: <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/4456>. Com acesso em: 20 jan. 2022.

¹⁰³ VIEIRA, Eduardo. **Os Bastidores da Internet: A história de quem criou os primeiros negócios digitais do Brasil**, 2018. [eBook Kindle]. Veja também: AGUERRE, Carolina. The internet in Argentina and Brazil: the origins of networking experiences. **Information & Culture**, v. 52, n. 2, p. 264-294, 2017. Disponível em: <https://www.utexaspressjournals.org/doi/abs/10.7560/IC52206>. Acesso em: 04 out. 2021.

provedores de serviços de telecomunicações e os fabricantes de equipamentos investirem bilhões de dólares na construção de linhas dedicadas.¹⁰⁴ Com o TCP/IP, uma vez liberados na rede, os pacotes podem tomar qualquer rota para chegar ao destinatário. Isso faz com que não haja necessidade de linhas privadas dedicadas ou grandes infraestruturas. Assim, criou-se uma rede pública aberta e compartilhada sem qualquer autoridade central ou parte responsável por sua manutenção e melhoria.¹⁰⁵

A rede TCP/IP possui suas funções divididas em quatro camadas, sendo elas, aplicação, transporte, rede e interface de rede. Cada camada é programada para responder por um grupo de tarefas específicas e serviços definidos para garantir a integridade e entrega dos dados trafegados e que serão executados pela camada superior. A camada de aplicação é o topo da arquitetura TCP/IP, por ser a mais próxima dos usuários, é a camada onde são realizadas a maior parte das requisições para execução de tarefas da rede. Ela faz a comunicação entre os programas e os protocolos de transporte e é responsável por tudo que está relacionado aos serviços de comunicação, pois visam a interação junto ao usuário. A camada de transporte é a segunda camada de cima para baixo na hierarquia TCP/IP. Neste nível são executadas ações relacionadas à confiabilidade e integridade dos dados, por meio de funções como o controle de fluxo, controle de erro, sequenciamento e multiplexação de mensagens. A camada de internet, também conhecida como inter-rede, é responsável pela permissão de envio de pacotes de *hosts* a qualquer rede e pela garantia de que esses dados cheguem ao seu destino. A camada interface de rede é a base da arquitetura TCP/IP, onde ocorre a conexão básica do *host* com a rede, por meio de algum protocolo capaz de enviar pacotes IP. É por meio desta camada que é possível transmitir dados a outros computadores dentro de uma mesma rede física, além de realizar o envio do datagrama (pacote de dados que viaja pela rede) recebido pela camada de internet através de meios físicos.¹⁰⁶

Durante as décadas de 1980 e início dos anos 1990, o TCP/IP foi utilizado por muitas empresas para criar redes privadas dentro das organizações, sendo que o seu uso público só veio com o surgimento da *World Wide Web*, em meados da década de

¹⁰⁴ BLANK, Andrew G. **TCP/IP Foundations**. San Francisco: Sybex, 2008. [eBook Kindle].

¹⁰⁵ LAKHANI, Karim R.; IANSITI, M. The truth about blockchain. **Harvard Business Review**, v. 95, n. 1, p. 119-127, 2017. Disponível em: <https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain>. Acesso em: 29 set. 2021.

¹⁰⁶ ESCOLA SUPERIOR DE REDES. **Arquitetura TCP/IP: conceitos básicos**. 2020. Disponível em: <https://esr.rnp.br/administracao-e-projeto-de-redes/arquitetura-tcp/ip-conceitos-basicos/>. Acesso em: 30 set. 2021.

1990. Neste período, várias empresas de tecnologia surgiram para fornecer a infraestrutura de *hardware*, *software* e de serviços necessários para se conectar à rede pública de computadores. Estando estabelecida a infraestrutura básica da internet, várias empresas se aproveitaram da conectividade de baixo custo para criar diversos serviços para o consumidor, o que pressionou as empresas tradicionais. Posteriormente, com a ampla conectividade com a internet, a próxima onda de empresas desenvolveu aplicativos que alteraram a forma como as empresas são criadas e capturam valor no mercado. Essas empresas foram construídas sobre uma nova arquitetura *Peer-To-Peer* (P2P) e geraram valor coordenando redes distribuídas de usuários. Exemplo disso é o *e-Bay* que mudou o varejo on-line através de leilões, o *Napster* que mudou completamente a indústria da música, o *Skype* que mudou as telecomunicações e o Google, que ranqueou *links* gerados pelo usuário para fornecer resultados mais relevantes, mudando a pesquisa na Web. Levou mais de 30 anos para o TCP/IP passar pelas fases de uso único, uso localizado, substituição, transformação e remodelamento da economia.¹⁰⁷

São vários os paralelos que se podem fazer entre as tecnologias TCP/IP e *blockchain*; a primeira delas é que antes do TCP/IP, quando as telecomunicações eram realizadas por meio de “comutação de circuito”, onde os dados circulavam de um ponto ao outro da rede e havia a necessidade de sustentar a ligação naquele circuito, necessitando a existência de uma infraestrutura de rede bastante grande. O modelo TCP/IP transformou a forma como os dados transitavam de um ponto ao outro, criando uma rede pública compartilhada, possibilitando aos pacotes de dados tomar qualquer caminho para se chegar ao destino, sem a necessidade de qualquer autoridade central, tal qual a *blockchain*.

A *blockchain*, assim como o TCP/IP, foi recebida com ceticismo sobre sua capacidade de transformar a forma de se relacionar das pessoas com os computadores. A *blockchain* é um registro público aberto e compartilhado, assim como o TCP/IP. Da mesma forma como o TCP/IP, a *blockchain* possibilita conexões ponto-a-ponto ocorrerem com baixo custo, por exemplo, eliminando a necessidade e a remuneração de múltiplos intermediários para realizar transações financeiras. Isso traz à luz o potencial de se criar uma mudança radical, não só no mercado financeiro,

¹⁰⁷ LAKHANI, Karim R.; IANSITI, M. The truth about blockchain. **Harvard Business Review**, v. 95, n. 1, p. 119-127, 2017. Disponível em: <https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain>. Acesso em: 29 set. 2021.

mas em todos os setores, onde um registro de transação de arquivos, seja um componente primário de algum negócio.

Comparativamente, pode-se dizer que o *Bitcoin* pode ser considerado o e-mail do TCP/IP, ou seja, a primeira aplicação de sucesso usando a nova tecnologia que deu início ao seu desenvolvimento. O e-mail foi apenas uma pequena demonstração do que era possível se realizar com a internet (TCP/IP); da mesma forma, o *Bitcoin* em relação à *blockchain*, é apenas a mais simples das possibilidades de uso da nova tecnologia.¹⁰⁸

Outro fato é que, inicialmente, o TCP/IP tinha um *design* distribuído, assim como hoje a *blockchain* (guardadas as devidas diferenças técnicas). Entretanto, hoje, a internet é altamente centralizada, sendo que a maior parte de seu tráfego é realizado por meio de serviços ou plataformas centralizadas, controladas por algumas grandes corporações, como Facebook, Google, Apple etc. Não se retira o mérito dessas plataformas centralizadas, pois elas facilitam os serviços, proporcionando aos usuários grande conforto; a questão é o preço que se paga por essas facilidades. Ao utilizar esses serviços centralizados, os usuários concedem um acesso valioso, impactante na privacidade, oferecendo, a esses atores globais, informações sobre cotidiano, como usam os produtos, como gastam o dinheiro e como relacionam-se com os demais. Todas essas informações são usadas, posteriormente contra os próprios usuários, para lhes retirar a autonomia.¹⁰⁹

2.2 Origem da *blockchain*

A origem da *blockchain* se confunde com a origem da *Bitcoin*, vez que é a tecnologia desenvolvida para instrumentalizar o funcionamento desta. A discussão a respeito das criptomoedas se iniciou por volta dos anos 1990, quando Eric Hughes, John Gilmore e Timothy May criaram um grupo intitulado *cypherpunks* que tinha por objetivo estudar e discutir a respeito de criptografia. Em 1992, Timothy May publicou o “*The Crypto Anarchist Manifesto*”, onde explicou o desenvolvimento de uma forma

¹⁰⁸ POPA, Mihaela. Drawing parallels between TCP/IP and the blockchain. **Blockchain Works**, 2021. Disponível em: <https://blockchain.works-hub.com/learn/Drawing-Parallels-between-TCP-IP-and-the-Blockchain>. Acesso em: 06 out. 2021.

¹⁰⁹ DE FILIPPI, Primavera. The Interplay between Decentralization and Privacy: The Case of Blockchain Technologies. **Journal of Peer Production**, Issue n. 7: Alternative Internets, 17 oct. 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2852689>. Acesso em: 03 nov. 2021.

nova de tecnologia que transformaria o relacionamento entre os usuários e sua atuação nas redes, além de excluir a necessidade de um terceiro para mediar as transações e resguardar a privacidade dos usuários.

May afirmou, em seu manifesto, que haveria uma ameaça que não viria de um impasse político, nem do terrorismo, nem de conflitos raciais, tampouco de uma crise ambiental, mas do crescimento e da expansão de uma nova forma de anarquia que ele denominou de anarquia cripto. Destacou que os avanços na criptografia assimétrica, dentro de pouco tempo, permitiriam que indivíduos e grupos se comunicassem e interagissem entre si até mesmo comercialmente, de forma mais anônima, sem precisar do governo ou de terceiros intermediadores, trazendo um grande desafio para o setor regulatório dos países, o que justificaria o termo anarquia cripto. Destacou que “o gênio está fora da garrafa”, ou seja, nada nem ninguém poderá parar a onda de anarquia induzida pela tecnologia.¹¹⁰

As descrições técnicas trazidas por May em seu manifesto cripto anarquista se encaixam quase que perfeitamente nas redes de cadeias de blocos distribuídas, podendo-se afirmar que as *blockchain* são as caixas à prova de adulteração idealizadas por May.¹¹¹

Em 1998, Wei Dai, um dos membros da lista de discussão *cypherpunk*, se dizendo fascinado pela *cripto-anarquia* de Tim May, publicou um texto expondo as principais características do protocolo de uma criptomoeda, dentre elas a total desnecessidade do aparato estatal para o seu funcionamento e onde o Estado também não poderia atuar como ente repressor porque os participantes não poderiam ser vinculados aos seus nomes verdadeiros ou às localidades físicas.¹¹²

Para entendermos as motivações que levaram ao desenvolvimento da *blockchain* e, por consequência, do *Bitcoin*, faz-se importante destacar alguns eventos econômicos históricos que foram definitivos para que seus desenvolvedores idealizassem a rede descentralizada e a criptomoeda.

As crises financeiras vivenciadas nas últimas décadas podem ser explicadas pela Teoria Austríaca dos Ciclos Econômicos, segundo a qual a expansão artificial de

¹¹⁰ MAY, Timothy. The crypto anarchist manifesto. **High Noon on the Electronic Frontier: Conceptual Issues in Cyberspace**, 1992. Disponível em: <https://libinst.cz/wp-content/uploads/2020/08/havel.pdf>. Acesso em: 07 out. 2021.

¹¹¹ DE FILIPPI, Primavera; WRIGHT, Aaron. **Blockchain & Droit - Le Règne du code** (French Edition). 2019, p. 19. [eBook Kindle].

¹¹² WEIDAI. 1998. Disponível em: <http://www.weidai.com/bmoney.txt>. Acesso em: 10 out. 2021.

crédito e da moeda conduzidas pelos Bancos Centrais são insustentáveis, pois distorcem as taxas de juros e estimulam a má alocação de recursos, o que promove uma expansão artificial da economia, pois ao invés de se dar por meio de poupança prévia da população, se dá por meio de subterfúgios econômicos artificiais. De forma simplificada, o excesso de crédito a taxas de juros muito reduzidas, aquece de tal forma a economia que gera uma escassez de serviços e de produtos, o que conseqüentemente cria uma pressão inflacionária e, em algum momento, os juros terão que subir para conter a inflação. Nesse cenário de juros mais altos, muitos empreendimentos deixarão de ser rentáveis e projetos serão abandonados, sobretudo aqueles que estavam financiados a taxas de juros pós-fixadas. Posteriormente, o desemprego aumentará nesse setor, redundando em uma ociosidade de mão de obra e, também, de capital. Haverá reflexo na renda, ocasionando uma paralisia na economia. Este é o cenário perfeito para a crise e reflete os acontecimentos de 2008.¹¹³

Durante os anos 2001 e 2002, o mercado imobiliário norte-americano entrou em expansão. A aquisição de imóveis passou a ser objetivo de quem queria comprar seu imóvel ou especular no mercado imobiliário, haja vista que na época, o Federal Reserve (Fed), o Banco Central americano, passou a diminuir os juros, incentivando empréstimos e financiamentos. Com mais dinheiro circulando e mais crédito fácil, houve grande liquidez no mercado e, por consequência, aumentou muito a especulação imobiliária.

O principal motivo da crise foi a concessão de empréstimos hipotecários de forma irresponsável para pessoas que não tinham capacidade de pagar *subprimes* ou que não a teriam, a partir do momento em que a taxa de juros começasse a subir, tal como ocorreu.¹¹⁴ Entretanto, esse fato não teria sido grave se os agentes financeiros não tivessem recorrido a inovações financeiras para securitizar os títulos “podres” ou

¹¹³ HARRIS, Lucas Losnak. **A teoria austríaca dos ciclos econômicos: seus fundamentos e uma análise da crise de 2008.** (Monografia de Bacharelado). Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuarial. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2013, p. 38-39. Disponível em: <https://rothbardbrasil.com/wp-content/uploads/arquivos/lucas.pdf>. Com acesso em: 14 fev. 2022.

¹¹⁴ Neste contexto, os *subprimes* podem ser conceituados como uma forma de crédito hipotecário para o setor imobiliário e destinada a tomadores de empréstimo que representam maior risco e que não se enquadram nas hipotecas de primeira linha, também denominadas de *prime*. (ALBERINI, Daniel Vinícius; BOGUSZEWSKI, Leonardo Deeke. Por dentro do subprime: a crise imobiliária americana e seus impactos na economia brasileira. **Vitrine da Conjuntura, Curitiba**, v. 1, n. 2, p. 1-10, 2008. Disponível em: <https://img.fae.edu/galeria/getImage/1/745596955587767.pdf>. Com acesso em 14 fev. 2022).

sem liquidez, transformando-os em títulos negociáveis e, em alguns casos, dando esses títulos como garantia de dívidas. Assim, a partir do momento em que os clientes *subprimes* não honraram seus compromissos, a crise ganhou gigantescas proporções, causando a insolvência de instituições financeiras.

Em decorrência da crise, na data de 15 de setembro de 2008, há o anúncio de falência do Lehman Brothers, o quarto maior banco de investimento americano, o que contaminou as bolsas de valores e os mercados internacionais.¹¹⁵ Assim, foi a redução artificial dos juros pelo Fed americano que deu início à bolha imobiliária; isso, logo após o estouro da bolha da internet em 2001 que também foi precedida por um período de expansão monetária criada artificialmente pelo Fed.¹¹⁶

Em 2008, neste cenário de grave crise econômica global, é que surge a *blockchain* como a tecnologia por de trás do *Bitcoin*. Talvez incentivado pelas incertezas e desconfianças do mercado financeiro global, trazidas pela grave crise financeira, uma pessoa, usando o pseudônimo de Satoshi Nakamoto¹¹⁷, lançou um sistema de pagamento eletrônico, criando uma criptomoeda que foi denominada *Bitcoin*.¹¹⁸ Em 31 de outubro de 2008, durante as comemorações da *Halloween* e um mês e meio após o colapso do Lehman Brothers, Nakamoto publicou o seu *paper Bitcoin, a P2P electronic Cash System*, na rede *cypherpunk*. Ele tinha como principal ideia a criação de uma moeda eletrônica totalmente descentralizada e P2P, sem a necessidade de um terceiro controlador. Assim, Nakamoto demonstrou que com a tecnologia, é possível se fazer diferentes arranjos monetários sem a necessidade de controle por um governo ou por um Banco Central.¹¹⁹

Como visto linhas acima, a ideia não era nova, pois anos antes, Tim May e, posteriormente Wei Dai já haviam proposto uma criptomoeda nesses moldes.

O *paper* de Satoshi não traz as suas motivações para criar a *Bitcoin*. Entretanto, posteriormente à postagem do *paper*, Nakamoto passou a responder perguntas dos

¹¹⁵ HERSEN, Amarildo; LIMA, Jandir Ferrera de. O efeito transbordamento da crise econômica internacional. **Textos de Economia**, v. 13, n. 1, p. 25-45, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/economia/article/view/2175-8085.2010v13n1p25>. Acesso em: 06 out. 2021.

¹¹⁶ ULRICH, Fernando. **Bitcoin: a moeda da era digital**. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2014, p. 38.

¹¹⁷ A real identidade do criador do *Bitcoin* é desconhecida.

¹¹⁸ NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. 2008. Disponível em: <https://www.bitcoinpaper.info/bitcoinpaper-html/>. Acesso em: 10 out. 2021.

¹¹⁹ PRATES, Marcelo M. Money in the Twenty-First Century: From Rusty Coins to Digital Currencies. **Ohio St. Bus. LJ**, v. 15, p. 164, 2021. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3781269. Acesso em: 14 fev. 2022.

demais membros da rede, e são nessas respostas que se pode extrair as motivações para o desenvolvimento do *Bitcoin*; e é aqui que a história do *Bitcoin* começa a ter relação, não só com a crise econômica que se vivia na época, mas com todos os desmandos econômicos vivenciados durante várias décadas pelos Bancos Centrais de diversos países. Quando afirmado, por um dos membros da rede, que a questão referente aos problemas políticos da criptografia não seriam solucionados com a criação do *Bitcoin*, Satoshi responde concordando, mas destaca que com a moeda eletrônica, se pode ganhar território de liberdade por vários anos, pois os governos são bons em cortar as cabeças de redes centralizadas, como o *Napster*, mas redes puramente P2P parecem seguir em frente inabaladas.¹²⁰

O que é mais indicativo do posicionamento político-filosófico de Nakamoto, e que demonstra sua visão crítica a respeito dos sistemas monetários e bancário vigentes à época, é o fato de que ao lançar o bloco gênese da *blockchain*, a primeira transação *Bitcoin* gravada em 03 de janeiro de 2009 veio acompanhada com a seguinte mensagem: *The Times 03/Jan/2009 Chancellor on brink of second bailout for banks*.¹²¹ A reportagem noticiava que o Chanceler Britânico Alistair Darlinr estava sendo forçado a considerar uma segunda ajuda aos bancos ingleses em decorrência da grave crise que o sistema bancário estava enfrentando. Estes fatos demonstram, de forma clara, as motivações para a criação do *Bitcoin*, dentre elas, a instabilidade do sistema financeiro mundial com o aumento da intervenção estatal, por meio de seus Bancos Centrais e a crescente perda de privacidade financeira.¹²²

De fato, o *Bitcoin* e as redes *blockchain* são um grande avanço na ciência da computação, haja vista que se sustentam em 20 anos de pesquisas em moedas criptográficas e 40 anos de pesquisas em criptografia. A *blockchain* é considerada a primeira solução para um problema que, na ciência da computação, é chamado de falha bizantina, abordada no Problema dos Generais Bizantinos, onde se faz a alegoria de um grupo de generais do exército bizantino acampado com suas tropas em torno da cidade inimiga, comunicando-se apenas por mensageiros, tendo eles que

¹²⁰ NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin P2P e-cash paper**. The Mail Archive, 07 nov. 2008. Disponível em: <https://www.mail-archive.com/cryptography@metzdowd.com/msg09971.html>. Acesso em: 11 out. 2021.

¹²¹ BITCOIN ART GALLERY. **The Times 03/Jan/2009 “Chancellor on brink of second bailout for banks” Genesis Block Time-Stamp**. Disponível em: <https://cryptocurrencyart.com/2009/01/03/bitcoin-genesis-newspaper-chancellor-on-brink-of-second-bailout-for-banks/>. Acesso em: 11 out. 2021.

¹²² ULRICH, Fernando. **Bitcoin: a moeda da era digital**. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2014, p. 42.

concordar com um plano comum. Entretanto, um ou mais deles podem ser traidores e tentarão confundir os outros. O problema será encontrar um algoritmo para garantir que os generais leais cheguem a um acordo. Portanto, a grande questão posta pela *blockchain* é poder estabelecer a confiança entre partes não confiáveis.¹²³

O termo falha bizantina foi usada pela primeira vez em 1982, em um artigo escrito por Lamport e outros pesquisadores que descobriram que a causa comum de uma falha bizantina é a influência adversária, como a injeção de *malware* e a captura de dispositivos físicos, sendo que vários processos bizantinos podem atuar para causar mais danos.¹²⁴

O que é bastante curioso em relação ao *Bitcoin*, é que a criação de moedas não é infinita, pois a quantidade de *Bitcoins* a ser minerada é limitada a 21 milhões, quantidade essa que já foi definida no código base da moeda pelo seu criador. Isso gera uma inflação devido à uma escassez cada vez maior. A escassez da moeda também causa efeitos na sua mineração que passa a exigir mais força computacional para resolver os problemas matemáticos que vão ficando cada vez mais difíceis.¹²⁵

O protocolo de Satoshi estabeleceu um conjunto de regras que garantiram a integridade dos dados trocados entre bilhões de dispositivos sem passar por um terceiro confiável. Cada *blockchain*, como o que usa *Bitcoin*, é distribuído, sendo executado em computadores fornecidos por voluntários em todo o mundo e não há banco de dados central para *hackear* ou desligar. Pode-se enviar dinheiro de forma direta e segura, sem passar por um banco ou uma empresa de cartão de crédito.¹²⁶ O *Bitcoin* não é controlado por alguém ou por algum governo e, também, não é possível criar mais *Bitcoins* do que os que são codificados pelo programa de *blockchain*. Os desenvolvedores esperam que estes protocolos de segurança tornem o *Bitcoin* uma moeda global que possa ser utilizada por todos.

A *blockchain* é o registro público de todas as transações *Bitcoin* e cresce constantemente à medida que os mineradores criam blocos, o que ocorre a cada dez

¹²³ ANDREESSEN, Marc. Why bitcoin matters. **New York Times**, v. 21, 2014. Disponível em: <https://dealbook.nytimes.com/2014/01/21/why-bitcoin-matters/>. Acesso em: 11 out. 2021.

¹²⁴ LAMPORT, Leslie; SHOSTAK, Robert; PEASE, Marshall. Concurrency: the Works of Leslie Lamport. The Byzantine generals problem. **ACM Digital Library**, 2019, p. 203-226. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3335772.3335936>. Acesso em: 07 set. 2021.

¹²⁵ GIUNGATO, Pasquale et al. Current trends in sustainability of bitcoins and related blockchain technology. **Sustainability**, v. 9, n. 12, p. 2214, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/12/2214>. Acesso em: 07 set. 2021.

¹²⁶ TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. Realizing the potential of blockchain. **World Economic Forum**. 2017. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Realizing_Potential_Blockchain.pdf. Acesso em: 06 out. 2021.

minutos. Os blocos são adicionados à *blockchain* em uma ordem cronológica linear. Cada computador conectado à rede *Bitcoin* (nó) possui uma cópia da *blockchain* que é baixada automaticamente quando o minerador se junta à rede *blockchain*.¹²⁷ Esta é constituída por uma arquitetura que se baseia em um conjunto de premissas criptográficas que possuem o condão de garantir a integridade e autenticidade dos dados registrados na rede, os quais só podem ser alterados ou atualizados mediante o consenso de mais de 50% dos usuários da rede.¹²⁸

Cada bloco possui um *hash* que constitui a criptografia do conjunto de informações existentes naquele bloco. Quem realiza a validação das transações são os usuários, também chamados de “mineradores”, que possuem equipamentos apropriados e realizam o *download* de uma versão específica do *software* do *Bitcoin* e ficam conectados com os outros participantes da rede.¹²⁹

Além de possibilitar a transferência de criptomoedas, a *blockchain* possibilita a transferência de outros ativos valiosos, podendo gerenciar títulos e dados sensíveis e, principalmente, podendo ser utilizados para criar processos de contratos inteligentes que podem ser executados de forma autônoma.

Como a *blockchain* é distribuída, os dados nela registrados são muito seguros e podem resistir mesmo se uma das cópias da *blockchain* estiver corrompida ou se um dos nós da rede cair, contando que haja pelo menos outro nó ativo. A administração centralizada da rede foi substituída na *blockchain* pelo mecanismo de consenso, que é um conjunto rígido de regras e de incentivos financeiros predefinidos, que torna a exclusão de um bloco ou a alteração de dados da *blockchain* cara e difícil. Quanto maior o tamanho da rede e o número de diferentes mineradores, mais difícil será a exclusão ou alteração dos dados. Utilizando-se de criptografia assimétrica,¹³⁰ cada bloco valida a integridade dos dados armazenados e permite que pessoas transacionem sob a utilização de pseudônimos, garantindo a privacidade na rede. Em *blockchains* públicas, qualquer pessoa pode criar uma conta, que é composta por um

¹²⁷ SWAN, Melanie. **Blockchain: blueprint for a New Economy**. Prefácio, 2015, p. 10. [e-book KOBO].

¹²⁸ REVOREDO, Tatiana. *Blockchain* como uma arquitetura reguladora: smart contracts como ferramenta ao direito. **Revista Criptomoedas e Blockchain Descomplicadas para Advogados**, São Paulo, Enalaw, v. 1, n. 1, 2019, p. 20.

¹²⁹ CAMPOS, Emília Malgueiro. **Criptomoedas e Blockchain: O Direito no Mundo Digital**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2018, p. 22.

¹³⁰ Criptografia assimétrica é aquela que se utiliza de pares de chaves criptográficas, sendo chaves públicas, que podem ser disseminadas e chaves privadas que apenas são conhecidas pelo seu proprietário.

endereço público, uma chave privada e uma senha, e realizar transações com outras pessoas, sem temer a prática de fraudes.¹³¹

Por exemplo, quando Juliana quer enviar Bitcoins para Lucas, ela cria uma transação que é constituída de seu endereço como entrada, sua assinatura digital para verificar se essa transação está realmente sendo realizada por ela, o valor a ser transferido e o endereço de Lucas como a saída. Juliana, então, transmite essa transação para a rede. Assim, por consequência, um mineiro receberá a transação, a validará e incluirá a transação de Juliana, juntamente com outras transações recebidas de outros usuários, em um bloco. Se o bloco for minerado com sucesso, o mineiro transmitirá o bloco para a rede para que os outros nós verifiquem o bloco minerado. Se a verificação for positiva, o bloco será adicionado à cadeia, logo após o último bloco minerado.¹³²

2.3 Blockchain e inovação: uma análise a partir da teoria da destruição criativa de Schumpeter

Segundo Schumpeter, a inovação é o fenômeno fundamental da vida econômica capitalista que ocorre dentro da esfera industrial e comercial e que produz o desenvolvimento, o progresso e a evolução econômica. O Profeta da Inovação, como é chamado Schumpeter, entende que os fenômenos do desenvolvimento tecnológico ocorrem internamente no processo industrial ou comercial, ou seja, de uma necessidade surgida no dia a dia das atividades industriais e não de uma necessidade do mercado consumidor.¹³³ Destaca que a inovação está no cerne da evolução econômica, definindo-a como a configuração de uma nova função de produção, por meio de novas combinações que advém do surgimento de uma nova elite empreendedora, a qual vem denominada em sua obra como “Novos Homens”.¹³⁴

¹³¹ DE FILIPPI, Primavera; WRIGHT, Aaron. **Blockchain & Droit - Le Règne du code** (French Edition). 2019, p. 08-10. [eBook Kindle].

¹³² NGUYEN, Cong T. et al. Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: fundamentals, applications and opportunities. **IEEE Access**, v. 7, p. 85727-85745, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8746079>. Acesso em: 18 out. 2021.

¹³³ MCCRAW, Thomas K. **O Profeta da Inovação: Joseph Schumpeter e a destruição criativa**. São Paulo: Record, 2012, p. 269.

¹³⁴ CROITORU, Alin et al. Schumpeter, Joseph Alois, 1939, “Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process”, New York and London, McGraw–Hill Book Company Inc. **Journal of comparative research in anthropology and sociology**, v. 8, n. 01, p. 67-80, 2017. Disponível em:

Para Schumpeter, é o produtor que inicia a mudança econômica e os consumidores são educados por ele ou ensinados a querer coisas novas. Portanto, é o empresário que é o agente que leva a efeito à inovação, vez que é o responsável por criar combinações que gerem lucro. Por novas combinações devem ser entendidas a introdução de novos bens, de um novo método de produção, abertura de um novo mercado, conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas, estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria. As novas combinações normalmente são impostas por novas empresas que, aos poucos, tornam as antigas obsoletas, extinguindo alguns modos de produção.¹³⁵

A ideia de lucro em Schumpeter, também difere daquela que é usual. Segundo ele, o lucro será o resultado das atividades empreendedoras focadas na inovação e difere da renda devido ao seu caráter temporário. A partir do momento em que a concorrência se adapta à nova tecnologia, então, o lucro se transmuda em renda que possui caráter mais duradouro.¹³⁶ A partir da teoria dos ciclos econômicos de Schumpeter, é possível ter clareza de que as inovações tecnológicas têm capacidade de romper o fluxo circular da economia, criando um novo e, portanto, são elas as principais determinantes dos ciclos econômicos. A concorrência faz com que o empresário inove nas formas de produção, criando novas maneiras de fazer negócios e de produzir com objetivo de maximizar seus lucros. Assim, as inovações mais recentes substituem as mais antigas, o que pode se chamar de destruição criativa.¹³⁷

https://www.researchgate.net/publication/319503069_Schumpeter_Joseph_Alois_1939_Business_Cycles_A_Theoretical_Historical_and_Statistical_Analysis_of_the_Capitalist_Process. Acesso em: 27 out. 2021.

¹³⁵ SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**. Coleção os Economistas. São Paulo, Nova Cultural Ltda, 1997, p. 75-76.

Veja também: CROITORU, Alin et al. Schumpeter, Joseph Alois, 1939, "Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process", New York and London, McGraw-Hill Book Company Inc. **Journal of comparative research in anthropology and sociology**, v. 8, n. 01, p. 67-80, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/319503069_Schumpeter_Joseph_Alois_1939_Business_Cycles_A_Theoretical_Historical_and_Statistical_Analysis_of_the_Capitalist_Process. Acesso em: 27 out. 2021.

¹³⁶ CROITORU, Alin et al. Schumpeter, Joseph Alois, 1939, "Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process", New York and London, McGraw-Hill Book Company Inc. **Journal of comparative research in anthropology and sociology**, v. 8, n. 01, p. 67-80, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/319503069_Schumpeter_Joseph_Alois_1939_Business_Cycles_A_Theoretical_Historical_and_Statistical_Analysis_of_the_Capitalist_Process. Acesso em: 27 out. 2021.

¹³⁷ ARAUJO, Joelma Maria. **Inovação e ciclos econômicos em Schumpeter e Minsky**. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, UFAL, Maceió, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1447>. Acesso em: 14 fev. 2022.

A tecnologia inovadora terá sempre no *establishment* um grande opositor, pois, como dito, ela vem para destruir o *status quo* de um determinado setor da economia, o que gerará forte resistência com o objetivo de se manter os dispositivos tornados ultrapassados ou obsoletos pela inovação. Portanto, a inovação é uma faca de dois gumes, pois cria oportunidades e avanços, de um lado; e, por outro, torna obsoleto um produto, serviço ou forma de produção, levando à bancarrota setores econômicos inteiros. O lado negativo da destruição criativa é sempre muito cruel e fará com que aqueles empresários atacados pela inovação lutem pelos seus interesses em manter as coisas como estão.¹³⁸

A inovação, por vezes, induz a criação de um serviço mais simples e mais barato que possibilitará a sua utilização por um número maior de pessoas. Entretanto, as organizações são criadas para defender os seus modelos de negócios e a implementação dessas inovações pode sabotar os seus produtos e serviços. Portanto, essas inovações, que trarão benefícios para a grande massa de pessoas, certamente virão de fora dessas organizações já estabelecidas, muitas vezes de pequenos empresários.¹³⁹

A inovação empreendedora tem o condão de moldar o sistema econômico de forma gradual, pois dificilmente o empresário que apresenta a inovação conseguirá, por si só, alterar a complexidade do mercado. Entretanto, com o passar do tempo, com a adesão de outros empresários à tecnologia, o processo de transformação será impiedoso e será responsável por estabelecer um padrão de produção na indústria. Todos os atores relevantes terão que se adaptar ao novo espaço econômico, sob pena de enfrentarem a morte econômica. Assim, a efervescência econômica não é causada pela inovação em si, mas decorre das respostas que os atores econômicos darão a ela.

Schumpeter entende que esta abordagem da dinâmica do sistema econômico se dá em quatro fases distintas. A primeira está ligada à inovação; a segunda é ligada à resposta dada pelo sistema econômico à inovação, ou seja, a reação do mercado a sua introdução; a terceira fase é uma antecipação depressiva, quando o mercado

¹³⁸ MCCRAW, Thomas K. **O Profeta da Inovação**: Joseph Schumpeter e a destruição criativa. São Paulo: Record, 2012, p. 269-272.

¹³⁹ CHRISTENSEN, Clayton M. et al. Disruptive innovation for social change. **Harvard business review**, v. 84, n. 12, p. 94, 2006. Disponível em: http://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2015/10/Disruptive-Innovation-for-Social-Change_2006.pdf Acesso em: 24 nov. 2021.

busca se adaptar à nova realidade; e a quarta é o retorno à normalidade em relação à quantidade e valores.¹⁴⁰

Outro ponto fundamental dos estudos de Schumpeter é a análise econômica, por meio da revisão da história. Segundo o autor, ninguém poderá entender os fenômenos econômicos se não tiver o necessário domínio dos fatos históricos. Para ele, o processo da economia é essencialmente único no tempo histórico. Assim, há uma inevitável correlação entre os fatos históricos institucionais e os fatos históricos econômicos, de forma que os principais equívocos econômicos cometidos, atualmente, estão mais ligados à ausência de conhecimento da evolução da história, do que, efetivamente, falta de preparo intelectual dos operadores do sistema econômico.¹⁴¹

Trazendo a teoria de Schumpeter para o atual estágio de desenvolvimento da tecnologia *blockchain*, pode-se dizer que se está na sua fase disruptiva inicial, justamente no momento da “destruição criativa” que ainda se desenrolará por alguns anos. Este período será fundamental para uma maior difusão e desenvolvimento da tecnologia, redundando na substituição gradual das redes centralizadas (tecnologia, em tese, a ser superada).¹⁴² Vale lembrar que a fase da destruição criativa, também por ser uma fase incipiente de desenvolvimento da inovação, não dá garantias de que ela se sustentará durante todo o processo, pois, nesse período, outras tecnologias podem surgir e a desbancar. A mesclagem também é possível, surgindo diferentes

¹⁴⁰ CROITORU, Alin et al. Schumpeter, Joseph Alois, 1939, “Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process”, New York and London, McGraw–Hill Book Company Inc. **Journal of comparative research in anthropology and sociology**, v. 8, n. 01, p. 67-80, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/319503069_Schumpeter_Joseph_Alois_1939_Business_Cycles_A_Theoretical_Historical_and_Statistical_Analysis_of_the_Capitalist_Process. Acesso em: 27 out. 2021.

¹⁴¹ SCHUMPETER, J. A. **History of Economic Analysis**. Routledge, 2006, posição 2148. [eBook Kindle]. Veja no original: “*First, the subject matter of economics is essentially a unique process in historic time. Nobody can hope to understand the economic phenomena of any, including the present, epoch who has not an adequate command of historical facts and an adequate amount of historical sense or of what may be described as historical experience . 3 Second, the historical report cannot be purely economic but must inevitably reflect also ‘institutional’ facts that are not purely economic: therefore, it affords the best method for understanding how economic and non-economic facts are related to one another and how the various social sciences should be related to one another. 4 Third, it is, I believe, the fact that most of the fundamental errors currently committed in economic analysis are due to lack of historical experience more often than to any other shortcoming of the economist’s equipment. History must of course be understood to include fields that have acquired different names as a consequence of specialization, such as pre-historic reports and ethnology (anthropology)*”.

¹⁴² DAVIDSON, Sinclair; DE FILIPPI, Primavera; POTTS, Jason. Economics of blockchain. **Available at SSRN 2744751**, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2744751. Acesso em: 21 out. 2021.

níveis de descentralização, novos mecanismos de legitimação do sistema e aplicações que podem desfigurar o modelo original da ferramenta. Ou, simplesmente, o mercado pode chegar à conclusão pela inutilidade ou alto custo da respectiva tecnologia.

2.4 *Blockchain* e as Tecnologias de Propósito Geral (TPG)

As tecnologias disruptivas provocam uma ruptura nos modelos de negócio, causando um rápido avanço na capacidade de um determinado produto ou serviço, seja combinando tecnologias já existentes ou criando uma tecnologia completamente nova.¹⁴³ Elas têm o poder, tanto de desenvolver de forma exponencial as indústrias que penetram quanto criar novas indústrias, por meio de produtos e serviços mais baratos, melhores e mais convenientes. Em razão das suas peculiaridades, as tecnologias disruptivas, ao mesmo tempo que trazem evolução à sociedade, sepultam setores que não se adaptam às suas imposições.¹⁴⁴ O seu poder de persuasão é tão poderoso que elas não dão espaço para empresas e setores econômicos avessos à investimentos em novas tecnologias. Assim, se as grandes empresas que dominam o mercado não se atualizam, pequenas empresas, com poder econômico ínfimo comparado àquelas, podem as desbancar e torná-las totalmente obsoletas. Esse é, também, o poder destrutivo das inovações.¹⁴⁵

Essas mudanças não ocorrem de forma espontânea, mas sim são induzidas pelo empresário inovador, aquele estudioso empreendedor que consegue inserir no mercado um produto ou serviço capaz de romper barreiras. Isso normalmente torna

¹⁴³ PITTERI, Sirlei. Tecnologias disruptivas e seus reflexos na economia e governos. Centro de Estudos Sociedade e Tecnologia. **Boletim**, Universidade de São Paulo – USP, v. 1, n. 8, out. 2016. Disponível em: <http://www.cest.poli.usp.br/wp-content/uploads/2018/08/V1N8-Tecnologias-disruptivas-e-seus-reflexos-na-economia-e-governos.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

¹⁴⁴ KOSTOFF, Ronald N.; BOYLAN, Robert; SIMONS, Gene R. Disruptive technology roadmaps. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 71, n. 1-2, p. 141-159, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162503000489?via%3Dihub>. Acesso em: 27 out. 2021.

¹⁴⁵ CHARITOU, Constantinos D.; MARKIDES, Constantinos C. Responses to disruptive strategic innovation. **MIT Sloan Management Review**, v. 44, n. 2, p. 55-63A, 2003. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/dca78a4679469bd000ad6e34f882ade8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=26142>. Acesso em: 29 out. 2021. Sobre tecnologias disruptivas veja também: CRISTÓVAM, José Sérgio da Silva; SAIKALI, Lucas Bossoni; SOUSA, Thanderson Pereira de. Governo digital na implementação de serviços públicos para a concretização de direitos sociais no Brasil. **Sequência (Florianópolis)**, p. 209-242, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/seq/a/f9mk84ktBCQJFzc87BnYgZv/?format=html>. Com acesso em 17 dez. 2021.

menor o custo e mais fácil a execução, concedendo a uma determinada função maior eficiência.¹⁴⁶

Há, atualmente, uma grande discussão na academia internacional para se verificar se é possível classificar a *Blockchain* como uma Tecnologia de Propósito Geral – TPG. Segundo Bresnahan e Trajtenberg, cientistas que cunharam o termo TPG, para que uma tecnologia possa ser considerada de propósito geral, ela precisa possuir uma característica pervasiva, ou seja, ser aplicada em inúmeras indústrias; gerar inovações nos setores onde é aplicada e fornecer soluções para efeitos complexos que estavam sem solução antes da existência da tecnologia.¹⁴⁷

De tempos em tempos, a civilização é influenciada por inovações tecnológicas que possuem impactos disruptivos na sociedade e, por isso, podem ser classificadas como TPGs. Essas tecnologias não levam a um imediato crescimento da produtividade econômica, pelo contrário, em alguns casos podem causar, no plano imediato, uma desaceleração, pois, no início elas não são utilizadas da maneira mais produtiva possível, levando alguns anos para as TPGs terem um impacto significativo na economia. Entretanto, mesmo tecnologias que a princípio possuem características de TPGs, como é o caso da *blockchain*, podem ao final não se tornar relevantes.¹⁴⁸

Pode-se afirmar que TPGs são bastante raras, pois há exigência de que elas transformem radicalmente a economia em escala global. Até hoje, apenas 24 tecnologias podem ser consideradas verdadeiramente TPGs. Neste seleto rol, estão a eletricidade, a roda e o computador, por exemplo. Essas tecnologias foram fundamentais para aumentar a expectativa de vida e a prosperidade da humanidade, por meio do crescimento econômico.¹⁴⁹

A tecnologia *blockchain*, assim como outras tecnologias surgidas no decorrer do desenvolvimento da humanidade, enfrenta alguns desafios e gargalos que ainda

¹⁴⁶ KALIL, Gilberto Alexandre de Abreu; GONÇALVES, Oksandro Osdival. Incentivos fiscais à inovação tecnológica como estímulo ao desenvolvimento econômico: o caso das Start-ups. **Revista Jurídica da Presidência**, Brasília, v. 17, n. 113, p. 497-520, out. 2015; jan. 2016.

¹⁴⁷ BRESNAHAN, Timothy F.; TRAJTENBERG, Manuel. General purpose technologies 'Engines of growth'?. **Journal of econometrics**, v. 65, n. 1, p. 83-108, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030440769401598T> Acesso em: 21 out. 2021.

¹⁴⁸ OZCAN, Sercan; UNALAN, Serhan. Blockchain as a General-Purpose Technology: Patentometric Evidence of Science, Technologies, and Actors. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 2020. Disponível em:

https://pure.port.ac.uk/ws/portalfiles/portal/26291365/OZCAN_2020_cright_Blockchain_as_a_general_purpose_technology.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

¹⁴⁹ KANE, Ethan. Is Blockchain a General Purpose Technology? **Available at SSRN 2932585**, 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2932585. Acesso em: 25 out. 2021.

devem ser superados. Fazendo-se uma análise histórica, pode-se verificar que quase todas as tecnologias disruptivas que, posteriormente, foram classificadas como TPG, aparecem primeiramente em sua forma primitiva e, muitas vezes, competem com tecnologias existentes. Como exemplo pode-se citar as limitadas capacidades do telefone por volta de 1880, a baixa produtividade dos computadores na década de 1950, ou a grande limitação que existia nas primeiras conexões de internet durante a década de 1990.

É possível que grande parte das melhorias necessárias para o aperfeiçoamento da rede *blockchain* venha de inovações secundárias que podem impactar em modificações sobre a forma inicial da tecnologia. A *blockchain*, atualmente, está em contínuo aprimoramento e em plena expansão, e são muitos os estudiosos que estão pensando formas de eliminar seus gargalos técnicos e econômicos. Por outro lado, a *blockchain* possui características que a colocam no topo do desenvolvimento tecnológico na área de redes de comunicação, vez que permitem a descentralização, o aumento de capacidade operacional, a redução de custos de transação e segurança de dados avançada.¹⁵⁰

É perceptível que a curva de aprendizagem da *blockchain* está evoluindo em uma velocidade talvez nunca vista com qualquer outra tecnologia na história, o que está gerando uma diminuição nos seus custos de operação e capacidade técnica, principalmente para uso em grande escala. Talvez a grande força motriz do desenvolvimento da tecnologia, nos últimos anos, seja as graves crises sanitária e ambiental vivenciadas no mundo atual, o que tem gerado preocupações dos cientistas e os forçados a encontrar formas alternativas de lidar com o problema.

A tecnologia blockchain precisa ser mais competitiva e segura do que as redes centralizadas que são estruturas maduras e disseminadas por todos os setores da economia e governamental, para que seu uso seja viável economicamente. Sem dúvida, as redes centralizadas são grandes oponentes às redes *blockchain*.¹⁵¹

Para parte dos estudiosos, a *blockchain* pode ser entendida como uma TPG em razão de suas características de livro-razão distribuído altamente transparente,

¹⁵⁰ FILIPPOVA, Evgeniia. Blockchain Materialization as a General Purpose Technology: A Research Framework. **European Conference on Parallel Processing**, Springer, Cham, 2019, p. 216-227. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-48340-1_17. Acesso em: 21 out. 2021.

¹⁵¹ DAVIDSON, Sinclair; DE FILIPPI, Primavera; POTTS, Jason. Economics of blockchain. **Available at SSRN 2744751**, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2744751. Acesso em: 21 out. 2021.

resiliente e eficiente, sendo um banco de dados descentralizado, diferentemente dos sistemas centralizados tradicionais que pecam pela vulnerabilidade e centralização de decisões. A tecnologia *blockchain* não requer a verificação de um terceiro confiável, pois usa um poderoso mecanismo de consenso, com incentivos econômicos para que os usuários verifiquem a autenticidade de uma operação no banco de dados.¹⁵² Há entendimento de que esse livro-razão distribuído poderia causar uma transformação em escala global, pois qualquer sistema centralizado que se utilize de um agente centralizador, ou de terceiros confiáveis para homologar transações, poderia ser substituído por um aplicativo baseado em *blockchain* que seria muito mais eficiente, seguro e confiável.¹⁵³

Como afirmado anteriormente, a criação dos primeiros computadores, o surgimento da internet por meio do TCP/IP e o próprio surgimento da *blockchain*, ocorreram durante momentos de alta convulsão e crise social, respectivamente, durante a II Guerra Mundial, auge da Guerra Fria e crise financeira de 2008. Assim, não há dúvidas de que se trata de tecnologias que possuem uma grande relevância social, pois foram idealizadas para resolver problemas que afligiam a sociedade em um determinado momento histórico. No caso específico da *blockchain*, ela surgiu para resolver o problema da confiança que permeava o mercado financeiro em 2008. O *Bitcoin* precisava de uma tecnologia que substituísse os agentes intermediários na validação das transações e, assim, surgiu a rede *blockchain*.¹⁵⁴

Considerando as características e potencialidades das redes *blockchains*, não há dúvidas de que se encaixam perfeitamente no conceito de tecnologia disruptiva, pois a pesquisa bibliográfica realizada destacou que ela vem *pari-passu* transformando setores específicos da indústria e do setor público. As redes distribuídas de cadeias de bloco podem transformar o modo como os negócios ocorrem, vez que através dela é possível a execução de processos colaborativos, envolvendo múltiplos agentes não confiáveis, sem a necessidade de uma autoridade

¹⁵² DAVIDSON, Sinclair; DE FILIPPI, Primavera; POTTS, Jason. Economics of blockchain. **Available at SSRN 2744751**, 2016. Disponível em:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2744751. Acesso em: 21 out. 2021.

¹⁵³ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia. **Available at SSRN 2580664**, 2015. Disponível em:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2580664. Acesso em: 22 out. 2021.

¹⁵⁴ PIMENTA, Eduardo Goulart. Blockchain e a solução para o "problema da confiança". **Economic Analysis of Law Review**, v. 11, n. 3, p. 209-222, 2020. Disponível em:

<https://www.proquest.com/openview/fe655fbd33bed8490b9a99e74453275a/1?pqorigsite=gscholar&cbI=1226335>. Acesso em: 05 nov. 2021.

central. As tarefas dentro dos processos de negócios são executadas por vários serviços selecionados que podem ser operados e validados via contrato inteligente.¹⁵⁵ Não sem motivo, as redes *blockchains* têm sido vistas como o mais significativo avanço tecnológico desde à criação da internet.¹⁵⁶

Na esteira da revolução digital ocasionada pela 4ª Revolução Industrial, é possível afirmar que no futuro a tecnologia *blockchain* não se limitará ao registro das transações financeiras, podendo ser utilizada para registrar nascimentos e óbitos, títulos de propriedade, certidões de casamento, diplomas escolares, pedidos às seguradoras, procedimentos médicos e votos, ou seja, qualquer tipo de transação que possa ser transformada em código.¹⁵⁷ Assim, as inovações tecnológicas como a *blockchain* devem ser vistas a partir de agora como forças exógenas que, inevitavelmente, mudarão o futuro da sociedade e não apenas como ferramentas aplicadas aos processos produtivos e de serviços.¹⁵⁸

¹⁵⁵ VIRIYASITAVAT, Wattana et al. Blockchain and internet of things for modern business process in digital economy—the state of the art. **IEEE Transactions on Computational Social Systems**, v. 6, n. 6, p. 1420-1432, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8744245>. Acesso em: 26 jun. 2021.

¹⁵⁶ NGUYEN, Cong T. et al. Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: fundamentals, applications and opportunities. **IEEE Access**, v. 7, p. 85727-85745, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8746079>. Acesso em: 18 out. 2021.

¹⁵⁷ SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016, posição 422 de 3204. [eBook Kindle].

¹⁵⁸ CASSI, Guilherme Helfenberger Galino. **Quarta revolução industrial: a influência da matriz institucional à promoção da inovação tecnológica no Brasil**. 202 f. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://www.pucpr.br/escola-de-direito/mestrado-e-doutorado/producao-academica/> Acesso em: 02 dez. 2021.

3. FUNCIONAMENTO DA *BLOCKCHAIN* E MECANISMOS DE CONSENSO

O presente capítulo buscará detalhar o funcionamento das redes blockchain, bem como apresentar seus principais mecanismos de consenso para que a partir de sua análise se consiga aferir sua segurança e possível aplicação na Administração Pública.

Antes de se adentrar nos aspectos técnicos da *blockchain*, deve-se esclarecer que a “tecnologia *blockchain*” ou as DLTs, são consideradas uma classe de tecnologias, vez que dentro dessa classificação existem diferentes espécies de estruturas técnicas e de diferentes formas de governança. Portanto, pode-se dizer que as *blockchains*, ou DLTs, são gênero, podendo existir diferentes espécies dentro desse espectro.¹⁵⁹

Para um melhor entendimento a respeito da tecnologia, faz-se importante ter clareza em relação à terminologia e conceitos que a circundam. Assim, um livro-razão distribuído (*distributed ledger*) é um tipo de estrutura de dados digitais que reside em vários dispositivos de computador, geralmente em locais geograficamente distintos. A tecnologia de livros-razão distribuído – DLT - projeta um tipo de tecnologia que permite armazenar e atualizar um livro distribuído de forma descentralizada. Embora os livros distribuídos existissem antes do *Bitcoin*, a *blockchain Bitcoin* inovou no sentido de convergir uma série de tecnologias existentes, tais como *timestamping* de transações, redes P2P, criptografia e poder computacional compartilhado, além de permitir o compartilhamento e armazenamento de dados sem confiar qualquer parte central para a manutenção do livro de contabilidade. Uma DLT é formada por a) um modelo de dados que captura o estado contábil atual (*timestamp*); b) uma linguagem de comunicação definida por transações que alteram o estado contábil e c) um protocolo usado para construir consenso entre os participantes em torno de quais transações são aceitas pelo livro-razão e em que ordem.¹⁶⁰

Livro-razão (*ledger*) é uma instituição muito antiga que se alterou pouco desde que a contabilidade por partidas dobradas foi desenvolvida na República de Veneza

¹⁵⁹ FINCK, Michèle. **Blockchain and the General Data Protection Regulation**: Can distributed ledgers be squared with European data protection law? Bruxelas: Parlamento Europeu, 2019. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2019\)634445](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2019)634445) Acesso em: 09 nov. 2021.

¹⁶⁰ BELOTTI, Marianna et al. A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760539>. Acesso em: 14 out. 2021.

em 1494, por Luca Pacioli, no Livro *Summa de Arithmetica, Geometria, Proportioni et Proportionalità*. Segundo este método, que hoje é utilizado por empresas e organizações do mundo todo, cada lançamento a débito em uma conta, deve corresponder a um lançamento correspondente ao crédito em outra conta, por isso o nome partidas dobradas, fazendo menção à dupla necessidade de registro.¹⁶¹ O livro-razão é uma tecnologia contábil que visa manter o controle sobre os registros de transação e é fundamental para o capitalismo moderno.¹⁶²

3.1 Rede de cadeia de blocos distribuída

Uma *Blockchain* é uma DLT P2P estruturada como uma cadeia de blocos, gravada por consenso. Em todas as DLTs há um registro inicial, que na *blockchain* é chamado de *bloco gênese*. Cada bloco inclui uma ou mais transações. Conectar-se a uma *blockchain* significa o usuário se conectar a este livro distribuído normalmente, por meio de um aplicativo. As transações existentes no livro-razão da *blockchain* são digitais e representam interações entre nós de uma rede P2P. As transações são operações individuais e indivisíveis e podem envolver troca ou transferência de ativos digitais que implicam informações, bens, serviços, fundos ou conjunto de regras que podem desencadear outra transação. Os nós da *blockchain* são dispositivos de computação conectados que suportam a rede, mantendo uma cópia do livro-razão. As réplicas de registros são armazenadas por nós completos que verificam a integridade dos dados da *blockchain*. Pode haver nós que, ao se conectar a *blockchain*, não baixam todo o livro, mas apenas um subconjunto dele. Esses nós leves, que são servidos por nós completos que permitem transmitir suas transações para a rede, baixam apenas o cabeçalho de todos os blocos na *blockchain*, com a finalidade de verificar apenas se uma transação foi incluída em um bloco.¹⁶³

¹⁶¹ PACIOLI, Luca. **Summa de Arithmetica geometria proportioni: et proportionalita**. Paganino de paganini, 1994. Disponível em: <https://play.google.com/books/reader?id=iqgPe49fhrsC&pg=GBS.RA1-PA7-IA1&hl=pt>. Acesso em: 22 out. 2021.

¹⁶² DAVIDSON, Sinclair; DE FILIPPI, Primavera; POTTS, Jason. Economics of blockchain. **Available at SSRN 2744751**, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2744751. Acesso em: 21 out. 2021.

¹⁶³ BELOTTI, Marianna et al. A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760539>. Acesso em: 14 out. 2021.

Para fazer transações com os pares da rede, é gerado um par de chaves criptográfica (criptografia assimétrica). A chave pública é utilizada para criptografar os dados da transação e a chave privada (que apenas o destinatário da operação conhecerá), será utilizada para descriptografar os dados, possibilitando assim o conhecimento do conteúdo da transação. Os nós de uma rede *blockchain* agrupam as transações e as enviam por toda a rede. O procedimento de atualização da *blockchain* precisa de um consenso, ou seja, de um acordo entre os pares da rede para registrar as transações e as transformar em registros imutáveis. Portanto, o consenso da rede se refere ao processo de obtenção, de acordo entre os participantes da rede quanto ao estado correto dos dados sobre o sistema. O protocolo de consenso pode variar de acordo com o tipo de rede *blockchain*. Na rede *Bitcoin*, por exemplo, ele é baseado em *Proof of Work* (PoW).¹⁶⁴

Uma DLT pode ser utilizada para qualquer troca de ativos digitais. Os aspectos contratuais de uma troca, envolvendo direitos e obrigações de nós, podem ser digitalizados e controlados por contratos digitais. Um contrato inteligente é um programa de computador que executa ações predefinidas, quando certas condições dentro do sistema são atendidas. Os contratos inteligentes fornecem a linguagem de transações, permitindo que o estado contábil seja modificado. Eles residem dentro da estrutura da *blockchain* e são acionados junto com as transações. Contratos inteligentes podem ser considerados como protocolos digitais usados para facilitar e fazer cumprir a negociação de um contrato legal.^{165 166}

Portanto, uma rede distribuída, baseada em tecnologia de cadeia de blocos (*blockchain*), é um livro contábil (*ledger*) que é distribuído entre os nós que integram a rede. Nestes registros, se anotam todas as transações realizadas entre os participantes, havendo prévia verificação por meio de um mecanismo de consenso. Assim, a própria rede oferece a confiança necessária para que os participantes operem o sistema de troca de informações. Cada transação deve ser aprovada pela

¹⁶⁴ BELOTTI, Marianna et al. A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760539>. Acesso em: 14 out. 2021.

¹⁶⁵UPADHYAY, Arvind et al. Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, p. 126130, 15 abr. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621003504>. Acesso em: 08 set. 2021.

¹⁶⁶ BELOTTI, Marianna et al. A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760539>. Acesso em: 14 out. 2021.

maioria dos participantes da rede para que a operação seja confirmada e armazenada no livro contábil eletrônico.¹⁶⁷ A criptografia permite que as *blockchains* ofereçam transmissão segura de dados permitindo a imutabilidade dos registros, em um ambiente descentralizado. Assim, uma *blockchain* é uma cadeia de blocos, forjada por consenso, que possui uma estrutura de dados apenas de leitura imutável, onde novas entradas (blocos) são anexadas ao final do livro-razão por ligação com o identificador *hash* do bloco anterior e que pode ser combinado com um modelo de dados e uma linguagem de comunicação que permite contratos inteligentes e outras tecnologias de assistência.¹⁶⁸

A utilização dessa tecnologia é especialmente interessante no caso de processos que envolvam muitos agentes interessados e não confiáveis, pois, a partir dela, é possível rastrear todas as operações sobre os dados registrados no *ledger*, aumentando a transparência e a auditabilidade das transações.¹⁶⁹

As principais características das *blockchains* são: a) descentralização, vez que não são controladas por um servidor central, não existindo um ponto único de falha, mas todos os nós chegam a um acordo sobre o estado da rede, participando dos mecanismos de consenso distribuídos; b) transparência, pois os dados armazenados na *blockchain* são visíveis para todos os participantes da rede; c) imutabilidade, vez que em razão dos dados estarem armazenados na rede *blockchain*, onde cada bloco possui o histórico total das transações, é extremamente difícil ser alterado; d) segurança e privacidade, pois a rede se utiliza de mecanismos de criptografia seguros, o que garante a privacidade e a segurança dos usuários.¹⁷⁰

As redes descentralizadas como a *blockchain* diferem drasticamente das redes centralizadas, vez que cada um dos blocos, que ficam distribuídos entre os usuários

¹⁶⁷ VIRIYASITAVAT, Wattana et al. Blockchain and internet of things for modern business process in digital economy—the state of the art. **IEEE Transactions on Computational Social Systems**, v. 6, n. 6, p. 1420-1432, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8744245>. Acesso em: 26 jun. 2021. Veja também: CADARSO, Javier Casado. **Blockchain en la administración electrónica**. Barcelona, Espanha: Universitat Oberta de Catalunya, 2019, p. 10. Disponível em: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/91128/6/jcasadocadTFM0119memoria.pdf>. Acesso em: 04 jun.2020.

¹⁶⁸ BELOTTI, Marianna et al. A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760539>. Acesso em: 14 out. 2021.

¹⁶⁹ TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. **Blockchain Revolution: Como a tecnologia por trás do bitcoin está mudando o dinheiro, os negócios e o mundo**. São Paulo: Senai, 2019. [E-book KOBO].

¹⁷⁰ NGUYEN, Cong T. et al. Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: fundamentals, applications and opportunities. **IEEE Access**, v. 7, p. 85727-85745, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8746079>. Acesso em: 18 out. 2021.

de forma descentralizada, possui uma cópia completa do *ledger*, a qual é constantemente atualizada pela rede. A grande vantagem dessas redes distribuídas é a impossibilidade de um agente malicioso vir a invadi-la com a intenção de alterar o *ledger*, já que, para isso, seria necessário acessar mais de 50% dos blocos, realizando a fraude em cada um deles. Outra inovação da *blockchain* é a ausência de necessidade de um terceiro confiável para intermediar as transações, vez que tudo acontece sob a supervisão de todos os nós que constituem a rede. A eliminação dos pontos centrais vulneráveis é uma das grandes revoluções da *blockchain*, pois torna a rede inviolável, protegendo-a contra ataques *hackers* ou agentes que tentem excluir informações ou fraudar de alguma forma a rede.¹⁷¹

Cada transação é registrada em um bloco que é anexado de forma sequencial ao bloco anterior de transações. Uma vez que as informações foram registradas na *blockchain*, elas não podem mais ser alteradas ou excluídas, o que resulta em uma imensa cadeia de blocos que representa todas as transações realizadas desde o bloco gênese até o último bloco minerado.¹⁷² Vale aqui repisar que cada nó da rede possui uma cópia integral da *blockchain*, portanto, a fraude ou a exclusão de uma transação realizada por um de seus operadores, rapidamente será descoberta e não contaminará o restante da rede.

Cada bloco da *blockchain* é formado por duas partes, sendo o cabeçalho que inclui metadados, como, por exemplo, um número único de referência, o horário em que o bloco foi criado e um “*link*” para o bloco anterior; e os dados que normalmente incluem uma lista de transações válidas realizadas, seus valores e os endereços das partes que realizaram as transações, sendo, portanto, possível associar uma transação às partes envolvidas.¹⁷³

A *blockchain* é pública, qualquer pessoa pode vê-la a qualquer momento, pois reside na rede e não dentro de uma única instituição encarregada de operações de auditorias e de manutenção de registros. Para manter a segurança digital, ela utiliza criptografia pesada, envolvendo chaves privadas e públicas. A cada dez minutos, todas as transações realizadas são verificadas, liberadas e armazenadas em um bloco

¹⁷¹ LYRA, João Guilherme. **Blockchain e Organizações Descentralizadas**. Rio de Janeiro: Brasport, 2019, p. 11.

¹⁷² NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. 2008. Disponível em: <https://www.bitcoinpaper.info/bitcoinpaper.html/>. Acesso em: 10 out. 2021.

¹⁷³ AUSTRALIAN GOVERNMENT. Department of industri, science, energy and resources. **National blockchain roadmap**, fev. 2020. Disponível em: <https://www.industry.gov.au/data-and-publications/national-blockchain-roadmap> Acesso em: 25 jul. 2020.

que está ligado ao bloco anterior, criando, assim, uma corrente. Cada bloco deve autenticar o anterior para ser válido. Essa estrutura marca permanentemente o momento e armazena as trocas de valor, impedindo que qualquer pessoa altere o livro-razão.¹⁷⁴

Poderia se pensar, então, que, se a rede *blockchain* é pública, podendo ser acessada e vista por qualquer pessoa em qualquer lugar do mundo, sua aplicação em organizações públicas estaria limitada a processos e cadastros públicos, onde não se concentrem informações sensíveis e sigilosas. Ocorre que a *blockchain* pública utilizada nas transações de *Bitcoin*, por exemplo, é apenas um dos modelos existentes, existindo também as *blockchain* permissionadas ou privadas.

A *blockchain* pública, também denominada de não permissionada, consiste em amplas redes difundidas administradas por um *token* nativo, sendo aberto à participação de qualquer um, em qualquer nível, e tem código aberto mantido por sua comunidade. As redes públicas precisam ser descentralizadas, ou seja, não há nenhuma autoridade para editar o *ledger*, desligar a rede ou alterar protocolos, sendo, na grande maioria, baseadas em protocolo de consenso, ou seja, qualquer mudança na rede só será realizada se houver a concordância de mais de 50% dos usuários da rede.¹⁷⁵

As *blockchains* públicas permitem a entrada e a saída de qualquer um sem qualquer autorização, bastando que o nó possua um pseudônimo válido (endereço de conta) e seja capaz de enviar, receber e validar transações e blocos. Qualquer pessoa pode participar da *blockchain*, mas o poder de voto é diretamente proporcional à posse de recursos computacionais, riqueza de *tokens* e espaço de armazenamento. O ambiente operacional da *blockchain* pública, normalmente, é de grande escala e de confiança nula, o que exige da comunidade o aumento da capacidade de processamento de transações e uso de esquemas de consenso mais eficientes. Portanto, a *blockchain* não permissionada é pública, qualquer pessoa pode entrar e sair sem autorização. Ademais: 1. há necessidade de se criar um pseudônimo; 2. há

¹⁷⁴ TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. **Blockchain Revolution**: Como a tecnologia por trás do bitcoin está mudando o dinheiro, os negócios e o mundo. São Paulo: Senai, 2019. [E-book KOBO].

¹⁷⁵ REVOREDO, Tatiana. **Blockchain**: Tudo o que você precisa saber. São Paulo: The Global Strategy, 2019b, p. 84.

Veja também: FINCK, Michèle. **Blockchain and the General Data Protection Regulation**: Can distributed ledgers be squared with European data protection law? Bruxelas: Parlamento Europeu, 2019. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2019\)634445](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2019)634445) Acesso em: 09 nov. 2021.

transparência na rede; 3. são redes de cadeias de dados muito grandes; 4. possuem uma capacidade de transação por segundo mais baixa e podem ser utilizadas por aplicações como criptomoedas, *smart contracts*, registros públicos e aplicativos descentralizados (DApp).¹⁷⁶

Há, também, a *blockchain* privada ou permissionada, que exige que os participantes sejam autorizados primeiro e, em seguida, participem da operação da rede com identidade revelada. O órgão de governança e consenso da rede pode ser apenas de um ente ou de um consórcio de entidades. O fato de se exigir a revelação da identidade torna esse tipo de rede ideal para aplicações comerciais internas ou com múltiplos entes interessados. Como o tamanho da rede privada é menor, isso permite a implantação de protocolos de consenso mais eficientes e que atingem maior capacidade de transação. Assim, em resumo, uma rede permissionada é privada ou regida por um consórcio de entidades. Ademais: 1. a entrada na rede deve ser autorizada; 2. a identidade deve ser revelada; 3. pode ser fechada ou aberta (transparente); 4. são redes menores; 5. a conectividade é alta com capacidade de transações também alta; e 6. pode ser usada por redes de compensação interbancárias, contratos de negócios, redes de suprimentos etc.¹⁷⁷

Uma das principais características da *blockchain* é manter registros impecáveis, sendo esta qualidade que faz sua aplicação tão interessante para a Administração Pública. O sistema da *blockchain* pode ser utilizado para criar uma linha do tempo clara de quem fez o que e quando, pois, por se tratar de uma estrutura de dados que são organizados de forma cronológica, na forma de um livro razão e com registro temporal (*timestamp*), possibilitam uma maior transparência e auditabilidade.¹⁷⁸ Muitos setores da Administração Pública, sempre que ocorre uma desconformidade, perdem dias, meses, às vezes anos, tentando avaliar esse problema, o que seria solucionado rapidamente com o uso de uma rede *blockchain*.

¹⁷⁶ BELOTTI, Marianna et al. A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760539>. Acesso em: 14 out. 2021.

¹⁷⁷ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

¹⁷⁸ BAIÃO, Renata Barros Souto Maior. **Blockchain, registros públicos e a possibilidade de reinvenção dos serviços cartorários extrajudiciais**. Disponível em: <https://www.lexmachinae.com/2018/12/05/blockchain-registros-publicos-reinvencao-cartorios-extrajudiciais/> Acesso em: 23 set. 2019.

Atualmente, a *blockchain* já se encontra em sua terceira geração com base em seu nível de desenvolvimento e suas aplicações práticas. Entretanto, considerando que a tecnologia está em franco desenvolvimento, já se vislumbra a chegada da quarta geração.

A *Blockchain 1.0*, primeira geração da *blockchain*, se originou do conceito de DLT como sendo o livro-razão distribuído, cujo banco de dados é consensualmente compartilhado entre os participantes que se tornam validadores e verificadores daquelas informações, mantendo a veracidade da rede. Ela está relacionada diretamente ao *Bitcoin*, a primeira criptomoeda que abriu caminho para um mundo de possibilidades de utilização financeira da rede distribuída. Em seu estágio inicial, a *blockchain* era utilizada comercialmente para pagamentos de pequeno valor, câmbio e alguns jogos.^{179 180}

Já a *Blockchain 2.0* surgiu em decorrência das falhas técnicas e da pouca escalabilidade da *blockchain* utilizada pela *Bitcoin*, o que levou à evolução da tecnologia na busca de corrigir essas falhas, surgindo, assim, a rede Ethereum que é baseada em novos conceitos de contratos inteligentes e novos mecanismos de consenso. O *Ethereum* realiza a implementação de contratos inteligentes, por meio da tecnologia de cadeia de blocos. Também é oriundo de uma comunidade que criou uma cripto moeda, que aqui é chamada de Ether (ETH). A *Blockchain 2.0* inclui a *Bitcoin 2.0*, contratos inteligentes, *smart-property*, aplicativos descentralizados, organizações autônomas descentralizadas e corporações autônomas descentralizadas. Estão incluídas todas as aplicações na área financeira, onde é

¹⁷⁹ MUKHERJEE, Pratyusa; PRADHAN, Chittaranjan. Blockchain 1.0 to Blockchain 4.0 - The Evolutionary Transformation of Blockchain Technology. **Blockchain Technology: Applications and Challenges**. Springer, Cham, 2021, p. 29-49. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69395-4_3. Acesso em: 20 out. 2021.

¹⁸⁰ AGGARWAL, Shubhani; KUMAR, Neeraj. Chapter Eight - History of blockchain-Blockchain 1.0: Currency. **Advances in Computers**, v. 121, p. 147-169, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065245820300632>. Acesso em: 20 out. 2021.

utilizado, principalmente, em negociação de títulos, cadeia de suprimentos, compensação de pagamentos, aplicações anti-falsificação etc.^{181 182 183}

Mesmo com a tecnologia do *Etherum*, não foi possível superar integralmente o problema da escalabilidade da rede Blockchain, isso porque o protocolo PoW utilizado pela rede, apesar de seguro, é bastante lento na aprovação dos blocos. Assim, com o objetivo de superar de vez esse problema, nasceu a *Blockchain 3.0*. que se refere a aplicações fora da área de finanças e de moedas, tais como no governo, saúde, ciência, cultura e artes. O principal objetivo da *Blockchain 3.0* é popularizar a tecnologia, tendo como um dos seus pilares a regulação e governança de sua descentralização na sociedade. A *Blockchain 3.0* se utiliza de mecanismos de consensos como Proof-of-Stake (PoS) e *Proof-of-Authority* (PoA), que buscam resolver o problema da escalabilidade e do alto consumo energético da *blockchain* e concedem, ainda, maior velocidade e poder de computação para contratos inteligentes.¹⁸⁴

A *Blockchain 3.0* prevê uma forma mais avançada de contratos inteligentes que tem como mote criar uma unidade organizacional distribuída sujeita às suas próprias regras, operando com alto grau de autonomia e segurança.¹⁸⁵ Imagine-se que a Prefeitura de Curitiba precisa fazer uma contratação pública para aquisição de gêneros alimentícios para a merenda escolar. Em uma situação como essa, ambas

¹⁸¹ XU, Min; CHEN, Xingtong; KOU, Gang. A systematic review of blockchain. **Financial Innovation**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40854-019-0147-z>. Acesso em: 20 out. 2021.

¹⁸² AGGARWAL, Shubhani; KUMAR, Neeraj. Chapter Fifteen - Blockchain 2.0: smart contracts.

Advances in Computers, v. 121, p. 301-322, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S006524582030070X>. Acesso em: 20 out. 2021.

¹⁸³ MUKHERJEE, Pratyusa; PRADHAN, Chittaranjan. Blockchain 1.0 to Blockchain 4.0 - The Evolutionary Transformation of Blockchain Technology. **Blockchain Technology: Applications and Challenges**. Springer, Cham, 2021, p. 29-49. Disponível em:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69395-4_3. Acesso em: 20 out. 2021.

¹⁸⁴ XU, Min; CHEN, Xingtong; KOU, Gang. A systematic review of blockchain. **Financial Innovation**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40854-019-0147-z>. Acesso em: 20 out. 2021. Veja também: MUKHERJEE, Pratyusa; PRADHAN, Chittaranjan. Blockchain 1.0 to Blockchain 4.0 - The Evolutionary Transformation of Blockchain Technology. **Blockchain Technology: Applications and Challenges**. Springer, Cham, 2021, p. 29-49. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69395-4_3. Acesso em: 20 out. 2021. E ainda: GUARDA, Teresa et al. Blockchain and Government Transformation. **International Conference on Information Technology & Systems**. Springer, Cham, 2021, p. 88-95. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-68285-9_9. Acesso em: 20 out. 2021.

¹⁸⁵ PIERONI, Alessandra et al. Smarter city: smart energy grid based on blockchain technology. **Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol**, v. 8, n. 1, p. 298-306, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/325990380>. Acesso em: 20 out. 2021.

as pontas do contrato, ente Municipal e fornecedor privado, são partes não confiáveis, ou seja, cada um deles deseja tirar o maior proveito econômico possível da contratação, o que gera uma relação de desconfiança mútua. Nessa situação hipotética, a utilização de um contrato inteligente baseado em *blockchain*, poderia resolver uma parte do problema da desconfiança entre as partes. Assim, as partes estabeleceriam as cláusulas contratuais que seriam traduzidas para a linguagem computacional, os meios de verificação e a execução do contrato, com a entrega dos itens de alimentação adquiridos, geraria a liberação dos valores ao fornecedor, vez que contratos inteligentes são capazes de liberar automaticamente pagamentos, desde que os termos do contrato sejam cumpridos. Em relação à transparência dos gastos públicos, os contratos inteligentes podem propiciar, aos cidadãos, o monitoramento das transações públicas em tempo real.

3.2 Redes centralizadas versus descentralizadas

O sistema tradicional centralizado funciona segundo a lógica de arquitetura Cliente-Servidor, ou seja, há uma entidade que requisita o serviço (cliente) e outra (servidor) que provê o serviço, compartilhando a informação de acordo com a solicitação. O Servidor, de forma centralizada, armazena toda a base de dados da rede e, com fundamento em regras e configurações próprias, fornece as informações requeridas, valida transações, adiciona ou exclui dados, sendo que nada ocorre sem sua supervisão e controle.¹⁸⁶

Em sistemas centralizados, a coordenação pode ser alcançada facilmente, vez que as informações são coletadas por nós confiáveis que as enviam ao servidor central para serem processadas, registradas e se necessário voltam aos usuários, na medida da necessidade da operação. Essa centralização proporciona duas vantagens bastante relevantes, a redução do número de transações, ou seja, diminui o custo de transação da operação e reduz o número de pessoas que teria acesso à informação em um sistema que fosse mais descentralizado. A questão é que a coordenação

¹⁸⁶ OLUWATOSIN, Haroon Shakirat. Client-server model. **IOSRJ Comput. Eng**, v. 16, n. 1, p. 2278-8727, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Shakirat-Sulyman/publication/271295146_Client-Server_Model/links/5864e11308ae8fce490c1b01/Client-Server-Model.pdf. Acesso em: 08 nov. 2021.

centralizada cobra o custo do usuário ter que confiar na autoridade que administra e coordena a rede e que fica sob custódia de todas as suas informações pessoais.

Ainda no caso das redes centralizadas, a regulação é facilitada, vez que os operadores apenas dependem de meios técnicos e contratuais para dizer como os usuários devem e não devem usar a rede. Como em redes centralizadas é possível acompanhar todas as transações que ocorrem na rede e identificar facilmente os usuários, as administradoras podem intervir para punir usuários que fizerem mal uso do serviço ou não cumprirem as regras da plataforma. Mas mesmo aqui, volta-se à questão da confiança. Posso confiar que a entidade que gerencia a plataforma seguirá as regras? Será que haverá abuso de confiança com uso indevido das informações pessoais dos usuários? Em redes centralizadas, a confiança é, e sempre será, o ponto mais sensível.¹⁸⁷

Em redes centralizadas é preciso ter plena confiança de que os operadores, só usem os dados de forma legítima, pois na medida em que as plataformas colhem informações pessoais dos usuários, elas criam um banco de dados poderoso que pode ser explorado por indivíduos mal-intencionados ou mesmo por órgãos oficiais do governo. Na maioria das vezes, para ter acesso aos serviços oferecidos por determinada plataforma, o usuário é obrigado a garantir acesso aos seus dados pessoais e a possibilitar a captura de informações a respeito de sua navegação na rede. Há uma tendência geral de aumento da vigilância e controle dos usuários e o objetivo parece claro: analisar o comportamento humano para otimizar os lucros. Após a coleta desses dados, eles são agregados, analisados, interpretados, processados e passam a gerar um serviço personalizado, de forma a capturar ainda mais a atenção do usuário e torná-lo psicologicamente dependente do serviço.¹⁸⁸

No modelo descentralizado, as redes utilizam uma arquitetura de dados chamada de P2P, caracterizada como um sistema que emprega recursos distribuídos com o objetivo de executar uma função de maneira descentralizada, onde não há um servidor central, sendo que todos os dispositivos vinculados a redes agem de forma híbrida, ou seja, ora funcionam como servidor, ora como cliente. Há, portanto,

¹⁸⁷ DE FILIPPI, Primavera. The Interplay between Decentralization and Privacy: The Case of Blockchain Technologies. **Journal of Peer Production**, Issue n. 7: Alternative Internets, 17 oct. 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2852689>. Acesso em: 03 nov. 2021.

¹⁸⁸ DE FILIPPI, Primavera. The Interplay between Decentralization and Privacy: The Case of Blockchain Technologies. **Journal of Peer Production**, Issue n. 7: Alternative Internets, 17 oct. 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2852689>. Acesso em: 03 nov. 2021.

isonomia entre os usuários da rede, ficando excluída a dicotomia cliente/servidor. Os dispositivos conectados à rede, passam a ser chamados de “par”, “parte” ou “nó”.¹⁸⁹

Assim, uma rede DLT é um banco de dados digital compartilhado e sincronizado que se utiliza de um algoritmo de consenso para certificar as transações, as quais são armazenadas em vários nós que guardam uma versão local completa do banco de dados. Quando maior a rede distribuída, maior será sua resiliência.¹⁹⁰

As redes descentralizadas possuem, como característica, um alto grau de segurança. Isso se dá por meio do mecanismo de consenso e da pesada criptografia utilizada pela rede. A criptografia possibilita que as transações realizadas pela internet revelem apenas informações estritamente necessárias para a sua concretização. Pois entende-se que qualquer informação desnecessariamente divulgada traz lesão à privacidade dos usuários.¹⁹¹

A blockchain surgiu, também, como uma reação à crescente centralização de dados nas mãos de grandes corporações. Nesses sistemas descentralizados, a vigilância, que marca as redes centralizadas, é mais difícil de ocorrer, tendo em vista a ausência de um operador central. Entretanto, o usuário passa a ser o responsável pela guarda de suas informações e seus canais de comunicação e eventual falha de segurança pode ser fatal para a captura de seus dados, principalmente se estiverem guardados em dispositivos on-line.

As redes descentralizadas trabalham com o conceito de soberania dos dados, ou seja, o usuário é proprietário de seus dados e apenas ele pode dispor daquelas informações. Assim, o usuário apenas compartilhará suas informações pessoais com quem ele tenha confiança. Trata-se de um problema mais de capacitar o indivíduo a tomar decisões corretas quanto ao compartilhamento de informações pessoais.¹⁹²

¹⁸⁹ MILOJICIC, Dejan S. et al. **Peer-to-peer computing**. 2002. Disponível em: <https://www.cs.kau.se/cs/education/courses/dvad02/p2/seminar4/Papers/HPL-2002-57R1.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2021.

¹⁹⁰ FINCK, Michèle. **Blockchain and the General Data Protection Regulation: Can distributed ledgers be squared with European data protection law?** Bruxelas: Parlamento Europeu, 2019. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2019\)634445](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2019)634445) Acesso em: 09 nov. 2021.

¹⁹¹ HUGHES, Eric. A cypherpunk's manifesto. **Crypto anarchy, cyberstates, and pirate utopias**, p. 81-83, 1993. Disponível em: https://media1-production.mightynetworks.com/asset/4707575/Cypherpunks_Manifesto_1993.pdf. Acesso em: 08 nov. 2021.

¹⁹² DE FILIPPI, Primavera. The Interplay between Decentralization and Privacy: The Case of Blockchain Technologies. **Journal of Peer Production**, Issue n. 7: Alternative Internets, 17 oct. 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2852689>. Acesso em: 03 nov. 2021.

Há, nas redes descentralizadas, uma necessidade de trocar informações para interagir com os demais nós da rede. As vantagens dessa troca são a redução da dependência dos prestadores de serviços centralizados e a melhora da capacidade de proteger os seus próprios dados pessoais. Entretanto, o grau de transparência característico das redes *blockchain* também pode exigir a divulgação de metadados para a rede global.

Dessa forma, a utilização da rede descentralizada deve vir com a avaliação prévia se os ganhos de privacidade resultantes da coordenação descentralizada são maiores do que os custos da privacidade, resultante da divulgação de metadados que podem revelar informações pessoais.¹⁹³

3.2.1 Integridade dos dados

A integridade dos dados na *blockchain* é realizada por meio da transformação de um dado, como, por exemplo, um documento em uma sequência de dígitos de um comprimento fixo que representa exclusivamente o valor do dado de entrada. Esse processo de entrada do dado é denominado de função *hash*. A saída é chamada de valor *hash* e é praticamente impossível que dois itens, tenham o mesmo valor *hash*.

Esse processo de *hash* pode ser utilizado para provar a integridade dos dados de entrada. Caso os dados de entrada sejam adulterados, a função produzirá um valor de *hash* totalmente desconforme. Para prevenir a adulteração, o valor de *hash* deve ficar visível para os observadores externos. Caso o valor de *hash* não seja alterado, haverá a certeza de que os dados de entradas estão preservados.¹⁹⁴

Os valores *hash* também podem ser usados para tornar evidente uma estrutura de dados de vários itens, por meio de ponteiros de *hash*. Os ponteiros de *hash* provam a integridade de uma série de itens de dados, incluindo seu conteúdo e sua sequência.

Sob essa lógica, os dados de cada item são combinados com o valor de *hash* do item anterior e colocados em uma função *hash*. Isso gera o valor de *hash* desse item que é, então, incluído no próximo item. Assim, o valor de *hash* do item 10 é

¹⁹³ DE FILIPPI, Primavera. The Interplay between Decentralization and Privacy: The Case of Blockchain Technologies. **Journal of Peer Production**, Issue n. 7: Alternative Internets, 17 oct. 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2852689>. Acesso em: 03 nov. 2021.

¹⁹⁴ BACON, Jean et al. Blockchain demystified: a technical and legal introduction to distributed and centralized ledgers. **Rich. JL & Tech.**, v. 25, p. 1, 2018. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/jolt25&div=4&id=&page=>. Acesso em: 08 nov. 2021.

baseado, tanto nos dados de 10 quanto no valor de *hash* do item 9. O item 9 contém os dados de 9 e o valor de *hash* do 8 e assim por diante, até o início da cadeia, resultando em uma cadeia de dados. Qualquer tentativa de adulteração de dados quebraria o *link* entre os blocos. Um observador externo que tenha acesso aos ponteiros *hash* pode detectar uma adulteração.

As *blockchains* conseguem registrar um grande número de transações em razão de que conseguem agrupar esses registros individuais em um bloco que é encadeando a outro, usando ponteiros *hash*. Cada bloco é composto por duas partes, o corpo do bloco, que contém as transações registradas e o cabeçalho do bloco, que inclui o *hash* do bloco anterior e alguns metadados, como um *timestamp*.¹⁹⁵

3.2.2 Autenticação de identidade

Antes de fazer o registro dos dados no bloco, é preciso autenticar as partes, pois não feito isso, um invasor pode se passar por outra parte e propor novas transações, adulterando os dados do bloco. A Infraestrutura de Chaves Públicas permite que os usuários gerem um par de chaves composto por uma chave pública e uma chave privada. Todos os usuários da rede têm acesso à chave pública, já a chave privada deve ser mantida em sigilo pelo usuário, nunca podendo ser revelada.

Os dados criptografados com a chave pública do receptor, apenas ele poderá decodificá-los através de sua chave privada, isso garante que apenas o destinatário final tenha acesso ao conteúdo enviado. Caso um terceiro intercepte a informação, se ele não for portador da chave privada, irá se deparar com dados totalmente embaralhados e ininteligíveis.

A Infraestrutura de Chaves Públicas pode ser utilizada para criar assinaturas digitais que estabelecem que uma transação emana de um determinado usuário. Para assinar o item de dados, o remetente criptografa os dados com sua chave privada. Se a chave pública conseguir descriptografar os dados, isso significa que o remetente tinha a chave privada.¹⁹⁶

¹⁹⁵ BACON, Jean et al. Blockchain demystified: a technical and legal introduction to distributed and centralized ledgers. **Rich. JL & Tech.**, v. 25, p. 1, 2018. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/jolt25&div=4&id=&page=>. Acesso em: 08 nov. 2021.

¹⁹⁶ BACON, Jean et al. Blockchain demystified: a technical and legal introduction to distributed and centralized ledgers. **Rich. JL & Tech.**, v. 25, p. 1, 2018. Disponível em:

3.2.3 Transparência e privacidade na rede

Transparência e privacidade parecem conceitos antagônicos. É difícil pensar que uma rede que possui, como principal característica a transparência das transações possa, também, preservar a privacidade de seus usuários. As redes *blockchain* conseguem essa façanha fazendo uso de pseudônimos. Assim, ao mesmo tempo que as transações realizadas na rede são transparentes, a real identidade dos usuários fica preservada. As redes como a *Bitcoin*, não são anônimas como se costuma dizer, mas sim pseudônimas.

Dentro da cadeia *blockchain*, a transparência só subsiste na camada mais básica, aquela que é responsável pela aplicação do algoritmo de consenso distribuído para a validação da transação. Camadas adicionais de criptografia podem ser criadas em cima dessa camada, com o objetivo de ocultar a origem e o destino das transações, por exemplo.

Aqui está mais uma similitude da *blockchain* com o TCP/IP, pois este também conta com endereços IP públicos, no que diz respeito, tanto à origem quanto ao destino das comunicações on-line. Aplicações como *The Onion Router (TOR)*¹⁹⁷ e *Freenet*¹⁹⁸ foram criadas justamente para introduzir uma camada adicional de anonimato em cima do Protocolo TCP/IP. Na *blockchain* pode ser feita a mesma coisa. A tecnologia *CoinJoin*,¹⁹⁹ por exemplo, foi criada para fornecer um maior nível de

<https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/jolt25&div=4&id=&page=>. Acesso em: 08 nov. 2021.

¹⁹⁷ O objetivo da aplicação TOR é possibilitar o uso da internet com o máximo de privacidade possível, roteando o tráfego por vários servidores e criptografando-o a cada etapa do caminho. TOR é um software livre de código aberto e tem como principais objetivos proteger contra a censura e garantir a privacidade de seus usuários. TOR PROJECT. **History**. Disponível em:

<https://www.torproject.org/about/history/>. Acesso em: 27 nov. 2021.

¹⁹⁸ O Freenet é um *software* gratuito que possibilita o compartilhamento de arquivos de forma anônima, publicar “freesites” (acessíveis apenas através do freenet) e conversar em fóruns sem estar exposto à censura. Trata-se de uma aplicação descentralizada, o que o torna menos vulnerável a ataques. As comunicações por nós da Freenet são criptografadas e roteadas por meio de outros nós para tornar extremamente difícil determinar quem está solicitando as informações e qual é o seu conteúdo. CLARKE, Ian. What is freenet? **Freenet**. Disponível em:

<https://freenetproject.org/pages/about.html>. Acesso em: 27 nov. 2021.

¹⁹⁹ “O protocolo CoinJoin, é um protocolo implementado para melhorar a privacidade e o anonimato dos usuários de Bitcoin. Este método consiste em ser capaz de unificar num mesmo conjunto todas as transações que serão realizadas por diferentes usuários do sistema. Assim, uma vez que todas essas transações foram unidas, nenhum usuário pode determinar de onde vêm os fundos; uma vez que as entradas e saídas dessas transações não podem ser vistas ou associadas. Assim, mesmo o destinatário de uma transação não pode dizer de onde recebeu os fundos transferidos. A implementação deste método é particularmente útil para evitar o rastreamento dos fundos recebidos ou pagamentos feitos no sistema Bitcoin. Especialmente se cuidarmos da nossa privacidade e

anonimato e confidencialidade para as transações. Entretanto, ressalte-se que essas técnicas criptográficas, mesmo garantindo maior confidencialidade às transações, não são incompatíveis com a transparência necessária, haja vista que os usuários mantêm a capacidade de abrir seus dados de transação a terceiros, a fim de divulgar informações relevantes de forma certificada, por exemplo, oferecer dados às autoridades com a finalidade de aplicação da lei fiscal.²⁰⁰

Quanto mais as operações financeiras por meio da rede *blockchain* crescem, mais aumenta a necessidade de se identificar a origem e o destino dos valores transacionados. O setor financeiro talvez seja uma das áreas mais regulamentadas em todo o mundo, para que se possa garantir a segurança financeira dos usuários e dos Estados, impedindo, assim, a prática de crimes como a lavagem de capitais, evasão de divisas, financiamento do crime organizado, de terroristas etc. Considerando, justamente, essa dificuldade de se estabelecer a real identidade do usuário com o seu pseudônimo, a rede *Bitcoin* e outras criptomoedas, tem sido usada, também, para a prática de crimes.²⁰¹ Entretanto, mesmo que com alguma dificuldade, é possível identificar quem realizou a operação por meio de seu pseudônimo. A transparência, que é inerente à rede *blockchain*, possibilita a total rastreabilidade de todas as operações realizadas na rede. Assim, eventual autoria de transações fraudulentas, com algum esforço, pode ser descoberta.²⁰²

recordamos que embora o Bitcoin seja privado, não é anônimo. Isto significa que é possível rastrear transações de Bitcoin ao ponto de encontrar a sua identidade. Certamente não é uma tarefa fácil, mas a análise de transações e os perfis digitais permitem este tipo de construção, por mais difícil que possa parecer. Está a ficar mais fácil fazê-lo, e as transações de Bitcoin nunca desaparecem, nem irão desaparecer, com todas as suas vinculações efetuadas. Por este motivo, e para aumentar a privacidade, foi desenhado o CoinJoin. Agora vamos saber como funciona o CoinJoin, quais opções oferece e os seus recursos e limitações (que também possui).” BIT2ME ACADEMY. **O que é o CoinJoin?** Disponível em: <https://academy.bit2me.com/pt/o-que-%C3%A9-coinjoin/>. Acesso em: 27 nov. 2021.

²⁰⁰ DE FILIPPI, Primavera. The Interplay between Decentralization and Privacy: The Case of Blockchain Technologies. **Journal of Peer Production**, Issue n. 7: Alternative Internets, 17 oct. 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2852689>. Acesso em: 03 nov. 2021.

²⁰¹ MÖSER, Malte; BÖHME, Rainer; BREUKER, Dominic. An inquiry into money laundering tools in the Bitcoin ecosystem. **2013 APWG eCrime researchers summit**. IEEE, 2013, p. 1-14. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6805780>. Acesso em: 03 nov. 2021.

²⁰² DE FILIPPI, Primavera. The Interplay between Decentralization and Privacy: The Case of Blockchain Technologies. **Journal of Peer Production**, Issue n. 7: Alternative Internets, 17 oct. 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2852689>. Acesso em: 03 nov. 2021.

3.3 Protocolo de consenso: a tecnologia responsável pela descentralização

Entre os componentes tecnológicos que fazem parte da tecnologia *blockchain*, o protocolo de consenso, sem dúvida, é a tecnologia definidora e que está por trás da segurança e do desempenho da rede distribuída, sendo ela a tecnologia responsável pela descentralização e que, portanto, garante que todos os participantes concordem com uma determinada transação, sem interferência de uma autoridade central.

Desde que a *blockchain* foi criada por Nakamoto, até os dias de hoje, vários protocolos de consenso foram propostos, buscando uma maior eficiência energética e rapidez na aprovação dos blocos. O tipo de protocolo de consenso utilizado pela *blockchain* impactará no desempenho do sistema, incluindo a sua capacidade de transação, escalabilidade e sua tolerância a falhas.²⁰³ Atualmente, os principais protocolos de consenso utilizados são o Proof-of-Work (PoW), Proof-of-Stake (PoS), *Delegated Proof of Stake* (DPoS), Proof-of-Authority (PoA) e *Practical Byzantine Fault Tolerance* (PBFT).²⁰⁴

Para a tecnologia *blockchain*, o mecanismo de consenso distribuído é fundamental, pois é ele quem determina qual bloco será aceito e inserido na cadeia. O nó que conseguir validar o bloco possui o poder de alterar o estado do banco de dados que é compartilhado por todos os outros pares. Para garantir a lisura desse processo, a mineração do bloco deve ser associada a alguns custos e recursos. A *blockchain Bitcoin* se utiliza do protocolo de consenso PoW, no qual os nós têm que competir, calculando um quebra-cabeça criptograficamente sofisticado.

Nesse protocolo, a complexidade da solução do problema imposto aos nós exige uma correspondente quantidade de poder computacional e, conseqüentemente, um alto nível de consumo de energia, o que torna esse sistema, por vezes, bastante oneroso e com alta pegada de carbono. Outrossim, uma vez resolvido com sucesso o

²⁰³ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

²⁰⁴ POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

quebra-cabeça por um nó aleatório, qualquer outro nó pode verificar se as informações inseridas pelo bloco validador estão corretas.^{205 206}

Um problema inerente ao PoW é que um nó malicioso, controlado por um agente invasor, também pode ser selecionado aleatoriamente como validador. Uma vez selecionado, o nó invasor pode inserir blocos com registros de transações falsas na *blockchain*. Entretanto, os nós pares podem verificar as transações do novo bloco recebido e, se alguma inconsistência for detectada, pode ser mantido o estágio antecedente da *blockchain*, não aceitando o novo bloco. Estando corretas as informações, os nós aceitam o novo bloco e a *blockchain* é atualizada.

Além do uso do mecanismo de consenso para evitar que os nós se comportem mal, a *blockchain* também pode usar um *token* cripto para incentivar um comportamento de acordo com os nós. Neste caso, o validador do bloco é recompensado com *tokens* cripto sempre que ele minerar um bloco de transações e este bloco for julgado válido pelos demais nós da rede e seja inserido na cadeia de blocos.

De forma alternativa à remuneração por *tokens cripto*, pode ser estipulada uma taxa de serviço, tal como ocorre em *blockchain* PoS, que será mais bem detalhado nos tópicos seguintes. Caso o nó validador oficial insira um bloco com informações incorretas, ele perderá as recompensas de *token* cripto e poderá perder parte de seu depósito compulsório de cripto moedas realizadas quando de sua entrada na rede.²⁰⁷

O mecanismo de consenso empregado em redes privadas pode ser o mesmo utilizado nas redes públicas, ou, então, ser desenhado exclusivamente para a rede. O modelo PoW tem se demonstrado insustentável para redes *blockchain* privadas. Normalmente, considerando que nas redes privadas a identidade dos participantes é conhecida, os mecanismos de consenso utilizados são mais simples e baratos se

²⁰⁵ SHEN, Charles; PENA-MORA, Feniosky. Blockchain for cities - a systematic literature review. **IEEE Access**, v. 6, p. 76787-76819, 2018. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8531608>. Acesso em: 31 ago. 2021.

²⁰⁶ COCCO, Luisanna; PINNA, Andrea; MARCHESI, Michele. Banking on blockchain: Costs savings thanks to the blockchain technology. **Future internet**, v. 9, n. 3, p. 25, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-5903/9/3/25>. Acesso em: 07 set. 2021.

²⁰⁷ SHEN, Charles; PENA-MORA, Feniosky. Blockchain for cities - a systematic literature review. **IEEE Access**, v. 6, p. 76787-76819, 2018. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8531608>. Acesso em: 31 ago. 2021.

comparados ao PoW, pois não há necessidade de mineração; muitas vezes é necessário, apenas, uma assinatura eletrônica dos nós que aprovam as transações.²⁰⁸

3.4 *Proof-of-Work* (PoW) ou Protocolo de Nakamoto

O protocolo de consenso criado por Nakamoto pode ser resumido pelas seguintes regras: 1) PoW: a geração de blocos requer encontrar uma pré-imagem para uma função *hash* para que o resultado *hash* satisfaça um alvo de dificuldade, que é dinamicamente ajustado para manter um intervalo médio de geração de blocos; 2) Prova de disseminação da informação: qualquer transação ou bloqueio recém-recebido ou gerado localmente deve ser imediatamente anunciado e transmitido aos pares; 3) Regra de cadeia mais longa: a cadeia mais longa representa o consenso da rede, que deve ser aceite por qualquer nó que a veja. A mineração deve sempre estender a cadeia mais longa; 4) Taxas de negociação e de bloqueio: o gerador de um bloco pode reivindicar uma certa quantidade de novos tokens, mais taxas de todas as transações fechadas, na forma de uma transação da moeda base para si mesmo.²⁰⁹

O Bitcoin, por intermédio do PoW se tornou o primeiro sistema de criptomoeda a resistir a ataques de gastos duplos em uma rede descentralizada de pouca confiança.²¹⁰ O ataque de gastos duplos, como o próprio nome está a sugerir, ocorre quando um usuário da rede consegue usar duas vezes a mesma moeda para fazer transações se utilizando o seguinte subterfúgio: um agente malicioso (invasor) e um comerciante acordam em um negócio, no qual o invasor pagará ao comerciante criptomoedas e, em troca, o comerciante dará a posse a um determinado bem físico. Em um primeiro momento, o invasor e o comerciante inserem a transação em uma rede *blockchain*, onde o invasor transfere as moedas eletrônicas para o comerciante. Em um segundo momento, o comerciante concede a posse do bem ao invasor.

²⁰⁸ POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

²⁰⁹ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

²¹⁰ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

Executada a segunda etapa do negócio, o invasor precisa, agora, recuperar as suas moedas para ter sucesso no ataque. Neste ponto, deve-se fazer a observação de que os validadores em uma rede *blockchain* seguem a *Longest Chain Rule* (LCR), segundo a qual o validador apenas pode adicionar os seus blocos a cadeia mais longa. Assim, para recuperar a posse das moedas, o invasor terá que gerar um ramo da cadeia que omita seu pagamento ao comerciante e que seja mais longo do que o ramo principal da *blockchain*. Assim, conseguindo criar um ramo da cadeia mais longo que a cadeia principal, segundo a regra da LCR, os demais validadores seguirão essa nova cadeia, aceitando o histórico de transações da nova cadeia e perfectibilizando o golpe de gasto duplo.

O protocolo de Nakamoto vem solucionar esse problema, ou mesmo torná-lo muito difícil de ocorrer, graças à implementação do PoW que veio solucionar a falha de criptografia denominada Problema dos Generais Bizantinos. O PoW exige que o comerciante espere até que a transação tenha sido adicionada a um bloco, para entregar a posse física de um bem, porque, assim, a probabilidade de um ataque ter sucesso cai vertiginosamente.²¹¹ Então, no PoW, com o objetivo de validar um bloco de transação, os nós da *blockchain* (mineradores) devem encontrar um valor de *hash* do bloco que atenda a um determinado requisito de dificuldade. O primeiro minerador que encontrar a solução, a transmite para os outros nós para que estes concordem com a solução. Assim, se o consenso for alcançado, o novo bloco será anexado à cadeia e ficará registrado em todos os demais blocos mantidos pela rede. Idealizou-se, aqui, que a solução para o problema seja difícil de encontrar, mas muito fácil de verificar pelos demais nós.²¹²

O mecanismo de PoW também é projetado para mitigar ataques Sybil.²¹³ Considerando a natureza sem permissão e pseudônima do *Bitcoin*, os ataques Sybil

²¹¹ SALEH, Fahad. Blockchain without waste: Proof-of-stake. **The Review of financial studies**, v. 34, n. 3, p. 1156-1190, 2021. Disponível em:

<https://academic.oup.com/rfs/article/34/3/1156/5868423?login=true>. Acesso em: 15 out. 2021.

²¹² BELOTTI, Marianna et al. A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760539>. Acesso em: 14 out. 2021. Veja também: POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

²¹³ Em um ataque Sybil, o invasor cria um grande número de identidades falsas e as usa para obter uma influência desproporcionalmente grande, alterando relatórios, sistemas de votação, tem acesso indevido a conteúdos entre outros males. Como a maioria dos agentes maliciosos se comportam de

podem obter novas identidades ou contas com pouco esforço. O poder de *hashing* vem do investimento real em *hardware* e não pode ser facilmente forjado. A regra da cadeia mais longa implica que o prefixo estabilizado da cadeia atue como uma referência comum do histórico da rede, uma vez que ninguém tem autoridade na rede descentralizada do *Bitcoin*. Já as recompensas de bloco e as taxas de transação são usadas para incentivar os mineradores a participar honestamente e injetar novas moedas em circulação.

É importante destacar que durante a geração de blocos, uma maior dificuldade de mineração exige mais ensaios de força bruta, a fim de resolver o problema matemático apresentado. Para garantir que cada bloco seja suficientemente propagado antes do próximo bloco sair, a dificuldade de mineração é ajustada a cada 2.016 blocos, para que o intervalo de registro dos blocos permaneça em um valor constante (dez minutos na rede *Bitcoin*), não importando como a potência bruta de *hashing* flutua. No código-fonte de cada um dos blocos da *Bitcoin* já existe uma programação para isso ocorrer. Assim, toda vez que 2.016 blocos são minerados, todos os nós realizarão um novo cálculo, resultando em um novo grau de dificuldade para o PoW.²¹⁴

Não obstante as vantagens técnicas do PoW e as soluções que apresenta para tronar a blockchain mais segura, com o aumento da rede *Bitcoin*, foram encontrados gargalos de desempenho e problemas de sustentabilidade decorrentes do consenso PoW. Os principais problemas encontrados no processo são: a) baixa capacidade de transação e baixa escalabilidade; b) consumo de energia insustentável; c) preocupações de segurança de longo prazo à medida que as recompensas de mineração diminuem.²¹⁵

No que se refere a crítica pelo seu baixo rendimento de transações, o *Bitcoin* pode processar até sete Transações Por Segundo (TPS). Enquanto isso, a rede VISA processa 2.500 TPS, em média.

forma semelhante aos utilizadores normais, a detecção desse ataque é difícil. (EVANGELISTA, Danilo de Faria Reis. **Disseminação segura de conteúdo diante ataques sybil para a internet das coisas**. 2016. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/46227>. Acesso em: 14 fev. 2022).

²¹⁴ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

²¹⁵ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

O desempenho limitado do protocolo de consenso de Nakamoto decorre da implicação de segurança de sua finalidade probabilística e dois parâmetros de protocolo: intervalo de bloco e tamanho o bloco. O intervalo de blocos de dez minutos garante que cada novo bloco seja suficientemente propagado antes que um novo bloco seja extraído. A redução do intervalo do bloco aumenta a capacidade de transação, mas deixa novos blocos insuficientemente propagados e causa mais “incidentes de garfo”,²¹⁶ prejudicando a segurança da cadeia principal.

Embora qualquer “garfo” possa ser resolvido dado o tempo suficiente, quanto maior a taxa desses eventos, maior a porção de poder de mineração honesto é desperdiçada, o que permite que um invasor de gasto duplo derrube a cadeia principal com menos de 50% de poder de mineração. Por outro lado, o aumento do tamanho do bloco (atualmente de 1MB), tem o mesmo efeito, vez que maiores tamanhos de blocos levam a maiores atrasos na transmissão do bloco e propagação insuficiente.²¹⁷

Outra desvantagem é a ineficiência energética, uma vez que uma enorme quantidade de poder computacional é necessária para que os mineradores possam resolver o problema matemático, que fica cada vez mais complexo à medida que a mineração de novas moedas vai ficando mais escassa.²¹⁸

A partir de novembro de 2019, uma transação média de *Bitcoin* consome 431 Kwh de eletricidade, quantidade que pode alimentar 21 residências nos EUA por um dia. À medida que a capacidade bruta de mineração da rede *Bitcoin* cresce, o protocolo PoW precisa aumentar a dificuldade de mineração para manter o intervalo de blocos de dez minutos, o que incentiva os mineradores a investir em equipamentos mais potentes e que, por consequência, consomem mais energia. Para responder a esta crítica, é que a comunidade *blockchain* vem propondo outros protocolos de

²¹⁶ Incidentes de garfo constituem-se em uma bifurcação da cadeia de blocos, onde uma nova cadeia é reconstruída a partir do bloco gênese. Este estratagema pode ser utilizado por um agente malicioso para tentar praticar gastos duplos.

²¹⁷ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

²¹⁸ POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

consenso mais sustentáveis como o de prova de participação (PoS), prova de autoridade (PoA) e prova de tempo decorrido – *Proof of Elapsed Time* (PoET).²¹⁹

Também estão sendo investigados outros mecanismos alternativos para validação de trabalho, como, por exemplo a SolarCoin, que recompensa geradores de energia solar com novas moedas ou a GridCoin, que introduz um novo algoritmo baseado no trabalho feito em projetos BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing), onde os mineiros são incentivados a participar de projetos científicos ligados, por exemplo, a saúde e exploração espacial, com objetivo de proporcionar benefícios à humanidade.²²⁰

De qualquer forma, o que parece ser a grande vantagem das redes *blockchain* é o poder de eliminar etapas e funções potencialmente poluentes da cadeia de produção industrial e de serviços, o que faz com que no cômputo geral de emissões, se consiga reduzir as emissões de gases nocivos.

Outra questão que preocupa é a possibilidade de ocorrer um ataque chamado de “*eclipse attack*”, em que um atacante poderoso monopoliza todas as conexões de entrada e de saída da vítima, isolando-a do resto de seus pares da rede, com o objetivo de provocar interrupções gerais ou de preparar um ataque mais sofisticado. Nesse ataque, o agente malicioso garantirá que todas as conexões do alvo sejam feitas por nós controlados por ele. Primeiro, ele inundará o alvo com seus próprios endereços de IP, aos quais a vítima irá se conectar ao reiniciar o *software*. Depois disso, a vítima fica à mercê dos nós maliciosos, sem visão da rede principal, podendo receber dados incorretos do invasor. O invasor pode, então, filtrar a visão da vítima sobre a *blockchain*, forçar a vítima a desperdiçar poder computacional em visões

²¹⁹ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021. Veja também: NETTO, Luísa Cristina Pinto e; MENENGOLA, Everton J. F. European Green Deal, digital economy, and blockchain: the path to sustainability? **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 2, n. 2, p. 11-32, maio/ago. 2021. DOI: 10.47975/IJDL.netto.v.2.n.2. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/netto2021/227>. Com acesso em: 20 jan. 2022.

²²⁰ KEWELL, Beth; ADAMS, Richard; PARRY, Glenn. Blockchain for good? **Strategic Change**, v. 26, n. 5, p. 429-437, 2017. ISSN 1086-1718. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsc.2143> >. Acesso em: 20 jan. 2022. Veja também: NETTO, Luísa Cristina Pinto e; MENENGOLA, Everton J. F. European Green Deal, digital economy, and blockchain: the path to sustainability? **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 2, n. 2, p. 11-32, maio/ago. 2021. DOI: 10.47975/IJDL.netto.v.2.n.2. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/netto2021/227>. Acesso em: 20 jan. 2022.

obsoletas da rede, ou cooptar o poder computacional da vítima para realizar seus propósitos.²²¹

Outro problema encontrado no protocolo de consenso de Nakamoto é o *selfish mining*. A tolerância de 50% de falhas de consenso do protocolo é construída a partir da suposição de que todos os mineiros (honestos e maliciosos) seguem rigorosamente a regra de transmissão segundo a qual novos blocos são transmitidos com sucesso após sua geração bem-sucedida. Se um grupo de mineiros mal-intencionados reter blocos recém-minerados e divulgá-los estrategicamente para interromper a propagação de blocos minados por mineiros honestos, eles podem anular parcialmente o trabalho desses e ampliar seu poder de mineração eficaz. Assim, esse grupo de mineradores egoístas podem gerar uma receita desproporcionalmente maior do que a da mineração honesta.²²²

A principal visão por trás da estratégia egoísta de mineração é forçar os mineiros honestos a realizar cálculos desperdiçados no ramo público obsoleto, ou seja, a mineração egoísta força os mineradores honestos a gastar seus ciclos em blocos que estão destinados a não fazer parte da *blockchain*. Eles conseguem isso revelando seletivamente seus blocos minados para invalidar o trabalho honesto dos mineiros.

O *pool* de mineração egoísta mantém seus blocos minados privados, bifurcando a *blockchain* e criando uma filial privada. Enquanto isso, os mineiros honestos continuam minerando no ramo público mais curto. Como os mineiros egoístas comandam uma parcela relativamente pequena do poder total de mineração, seu ramo privado não permanecerá à frente do ramo público indefinitivamente.

Assim, a mineração egoísta revela criteriosamente blocos do ramo privado para o público, de tal forma que os mineiros honestos mudarão para os blocos recentemente revelados, abandonando a corrente pública mais curta. Isso desperdiça

²²¹ HEILMAN, Ethan et al. Eclipse attacks on bitcoin's peer-to-peer network. **24th {USENIX} Security Symposium ({USENIX} Security 15)**. 2015. p. 129-144. Disponível em: <https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity15/technical-sessions/presentation/heilman>. Acesso em: 13 out. 2021.

²²² XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

o gasto anterior realizado e permite ao grupo egoísta coletar receitas mais altas incorporando uma fração maior de seus blocos na *blockchain*.²²³

3.5 Proof-of-Stake (PoS) como protocolo alternativo mais sustentável para *blockchain*

A primeira proposta de PoS foi feita em 2012, no trabalho *PPCoin: Criptomoeda P2P with PoS*, desenvolvido por Sunny King e Scott Nadal, onde foi implementado um sistema híbrido de PoW com PoS. O trabalho apresentou o PoS como uma forma de comprovar a propriedade da moeda, baseado no parâmetro do valor da participação na rede com o da idade da moeda consumida na operação. A idade da moeda foi definida como o período em que ela foi retida pelo seu proprietário. Por exemplo, se Juliana recebeu 20 moedas de Lucas e as segurou por 60 dias (20 x 60), podemos dizer que Juliana acumulou 1200 moedas de idade da moeda. Quando Juliana gastar as 20 moedas que recebeu de Lucas, pode-se dizer que a “idade” das moedas acumuladas por Juliana serão consumidas ou destruídas. Assim, aliando-se o PoS com o conceito de idade da moeda, descobriu-se que se poderia substituir a maioria das funções da prova de trabalho com um redesenho do modelo de mineração e segurança do *Bitcoin*, gerando uma incrível redução de consumo de energia.²²⁴

O PoS ou Protocolo de Prova de Participação é originário, também, da comunidade *Bitcoin* e tem por objetivo ser uma alternativa energeticamente eficiente para a mineração, em relação ao PoW. Em termos mais simples, uma participação se refere às moedas ou *tokens* de rede pertencentes ao participante que podem ser investidas no protocolo de consenso da *blockchain*.

Sob o ponto de vista da segurança, o PoS se aproveita da propriedade de *tokens* para mitigar ou evitar os ataques Sybil. Há algumas diferenças importantes em relação ao PoW. Por exemplo, as chances de um mineiro de PoW propor um bloco aumenta de forma proporcional a sua força bruta computacional; já para um nó de

²²³ EYAL, Ittay; SIRER, Emin Gün. Majority is not enough: Bitcoin mining is vulnerable. International conference on financial cryptography and data security. **Springer Link**. Berlin, Heidelberg, 2014. p. 436-454. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-45472-5_28 Acesso em: 12 out. 2021. Veja também: BINANCE ACADEMY. **Guia sobre Selfish Mining**. 2021. Disponível em: <https://academy.binance.com/pt/articles/selfish-mining-explained>. Acesso em: 13 out. 2021.

²²⁴ KING, Sunny; NADAL, Scott. Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. **Self-published paper**, August, v. 19, n. 1, 2012. Disponível em: <https://www.chainwhy.top/upload/default/20180619/126a057fef926dc286accb372da46955.pdf> Acesso em: 15 out. 2021.

PoS, suas chances de propor blocos aumentam de acordo com o valor de sua participação na rede.

Assim, o PoS move o custo de oportunidade de uma mineração de fora do sistema (poder computacional e eletricidade) para dentro do sistema (perda de capital e ganho de investimento). Por não haver mineração de fato, um minerador PoS pode ser comparado a um validador, apostador (*miner*) ou uma parte interessada, pois o PoS se assemelha muito ao investimento em mercado de capitais.²²⁵

A forma mais simples de implementação do PoS, conhecida como *Follow-the-Satoshi* (FTS) algoritmo, envolve a seleção de um ramo da cadeia de *blockchain* de forma aleatória e uniforme dentro o universo de moedas nativas. O proprietário da moeda selecionada recebe a oportunidade de anexar o bloco ao ramo que selecionou sua moeda e de forma simultânea coletar a recompensa do bloco. Assim, o algoritmo utilizado pelo protocolo PoS faz uma eleição aleatória para selecionar um nó para ser o validador do bloco, usando como critérios, fatores que podem incluir a idade da moeda, a randomização e a quantidade de moedas que o nó possui.

Outra diferença é que não são criadas novas criptomoedas como recompensa para os mineradores, tal como acontece no PoW, mas as recompensas são taxas de transação previamente fixadas. Os usuários/construtores que queiram participar do processo de construção de blocos precisam bloquear certa quantidade de moedas na rede como forma de sua participação. Quanto maior a participação do nó, maior é a chance de ser selecionado como próximo validador e construir o próximo bloco.

Fazendo uma analogia simples sobre o sistema de funcionamento do PoS, imagine-se que uma determinada instituição bancária está fazendo um sorteio mensal de R\$ 500.000,00 e o critério para receber os números da sorte que vão concorrer ao prêmio são o volume de capital investido no banco e o tempo que este valor está sob a custódia do banco, quanto maior o valor de capital investido no banco e mais antigo for o saldo, mais números da sorte você receberá para concorrer à grande quantia. Portanto, as suas chances de ganhar serão proporcionar a sua participação no banco

²²⁵ XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021. NGUYEN, Cong T. et al. Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: fundamentals, applications and opportunities. **IEEE Access**, v. 7, p. 85727-85745, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8746079>. Acesso em: 18 out. 2021.

e ao tempo que você mantém esse capital investido. É exatamente essa a ideia por trás do PoS.²²⁶

Entretanto, como nenhum sistema é perfeito, esse tipo de metodologia gera distorções, pois privilegia os nós mais ricos, desincentivando nós mais fracos economicamente a participar da validação, o que também interfere na descentralização da cadeia e mina o objetivo principal de uma *blockchain*. Para nós menos abastados, há possibilidade de se unirem em *pools* de apostas para aumentar as suas chances de ganhar blocos e compartilhar custos operacionais.

Semelhantes aos *pools* de mineração nas redes PoW, uma piscina de participação é considerada um único nó, portanto, também representa uma ameaça à descentralização da rede. Assim, para que não haja essa hegemonia na construção de blocos por nós mais ricos e para tentar desincentivar a criação de *pools* de apostas, é que se utilizam, além do critério de participação, o critério da idade da moeda e a randomização ou seleção aleatória de blocos.²²⁷

Atualmente, o número de *blockchain* PoS cresceu bastante em relação às *blockchains* PoW. Desde 2015, mais de 50 projetos de *blockchain* PoS foram anunciados e em estudos realizados se verificou que as *blockchains* PoS implantadas cumulativamente são mais usadas do que as *blockchain* PoW. Isso ocorre em grande parte em razão de aplicativos descentralizados relacionados a financiamentos, mercados de apostas e casas de câmbio descentralizadas. Outrossim, a *blockchain* PoS lançadas recentemente oferecem grande potencial para novas aplicações, como tokenização, emissão de qualquer ativo de forma padrão e processos de liquidação mais eficientes.²²⁸

Estudos demonstram que o mecanismo PoW é, sem dúvida, o que oferece maior confiabilidade e equidade na mineração dos blocos, mas, por outro lado, causa grande consumo de energia. O PoS, por seu turno, pode reduzir significativamente o consumo de energia, mas possui baixa confiabilidade e equidade. Em razão disso, a

²²⁶ NGUYEN, Cong T. et al. Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: fundamentals, applications and opportunities. **IEEE Access**, v. 7, p. 85727-85745, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8746079>. Acesso em: 18 out. 2021.

²²⁷ NGUYEN, Cong T. et al. Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: fundamentals, applications, and opportunities. **IEEE Access**, v. 7, p. 85727-85745, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8746079>. Acesso em: 18 out. 2021.

²²⁸ SALEH, Fahad. Blockchain without waste: Proof-of-stake. **The Review of financial studies**, v. 34, n. 3, p. 1156-1190, 2021. Disponível em: <https://academic.oup.com/rfs/article/34/3/1156/5868423?login=true>. Acesso em: 15 out. 2021.

combinação dos dois protocolos, além de resolver os problemas de equidade e confiabilidade, reduz de forma abrupta o consumo de energia.²²⁹

Tal como idealizado por King e Nadal, os sistemas híbridos de PoW e PoS têm recebido bastante atenção da academia por retirarem o melhor dos dois sistemas e privilegiarem a sustentabilidade. Estudos recentes de simulação de redes *blockchain* híbridas demonstram que esses sistemas podem ser ainda mais econômicos energeticamente do que sistemas inteiramente PoS.

Em experimento realizado em 2020, pelo *Tsinghua-Berkeley Shenzhen Institute*,²³⁰ foram utilizados como parâmetro um mercado fixo de 100 participantes, com um tempo de simulação de 300.000 minutos (30.000 ciclos, já que cada ciclo leva 10 minutos para ser concluído). Já o poder de computação, o índice de confiabilidade dos nós e o grau de dificuldade dos blocos foram gerados aleatoriamente. Com esses parâmetros foram realizados seis experimentos, denominados de modos, sendo o Modo 1, 100% operado por PoS e os modos seguintes aumentando cada um 20% de operação via PoW (ver tabela 1 abaixo). O resultado que se obteve demonstrou que quanto mais longo o período de exposição em PoW, maior quantidade de energia é consumida. Entretanto, o Modo 2, com participação de 20% de PoW e 80% de PoS, obteve um consumo menor de energia do que o Modo 1 que foi operado inteiramente por PoS.²³¹ Para melhor entendimento da simulação, veja-se a tabela e os gráficos, a seguir, destacados do estudo em questão:

²²⁹ ZHANG, Rong; CHAN, Wai Kin Victor. Evaluation of energy consumption in block-chains with proof of work and proof of stake. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, 2020, p. 012023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1584/1/012023/meta>. Acesso em: 16 out. 2021.

²³⁰ UC BERKELEY. **Tsinghua-Berkeley Shenzhen Institute**. Disponível em: <https://tbsi.berkeley.edu/> Acesso em: 02 dez. 2021.

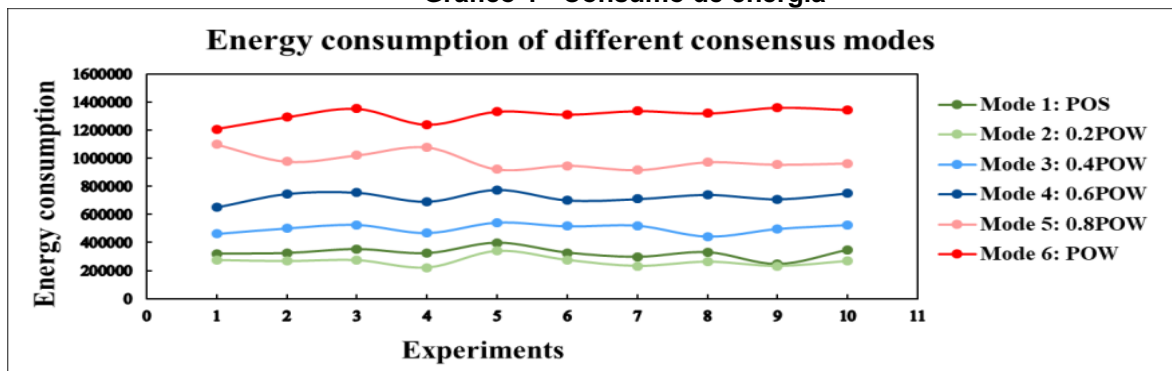
²³¹ ZHANG, Rong; CHAN, Wai Kin Victor. Evaluation of energy consumption in block-chains with proof of work and proof of stake. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, 2020, p. 012023.

Tabela 1 - Modos de simulação

	Período de PoW	Período de PoS
Modo 1: Pos	0%	100%
Modo 2: 0.2PoW	20%	80%
Modo 3: 0.4PoW	40%	60%
Modo 4: 0.6PoW	60%	40%
Modo 5: 0.8PoW	80%	20%
Modo 6: Pow	100%	0%

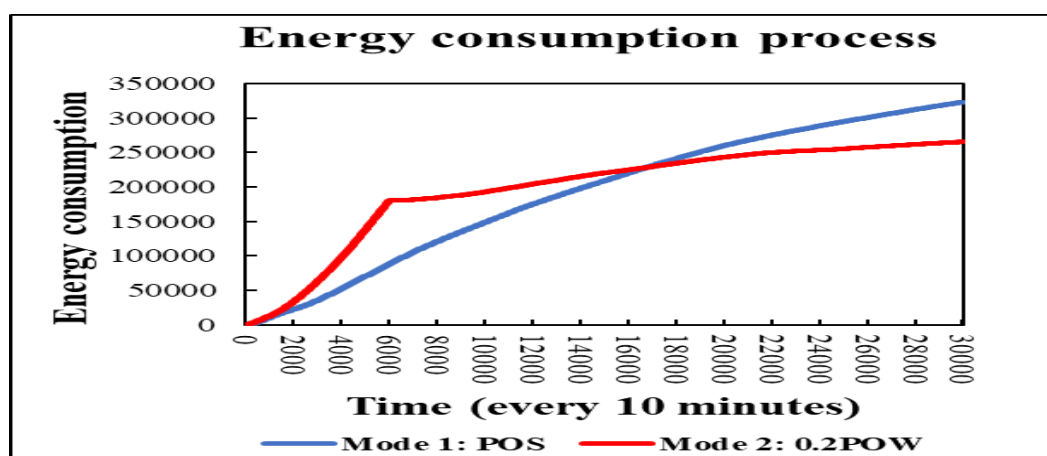
Fonte: ZHANG, Rong; CHAN, Wai Kin Victor. Evaluation of energy consumption in block-chains with proof of work and proof of stake. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, 2020, p. 012023.

Gráfico 1 - Consumo de energia



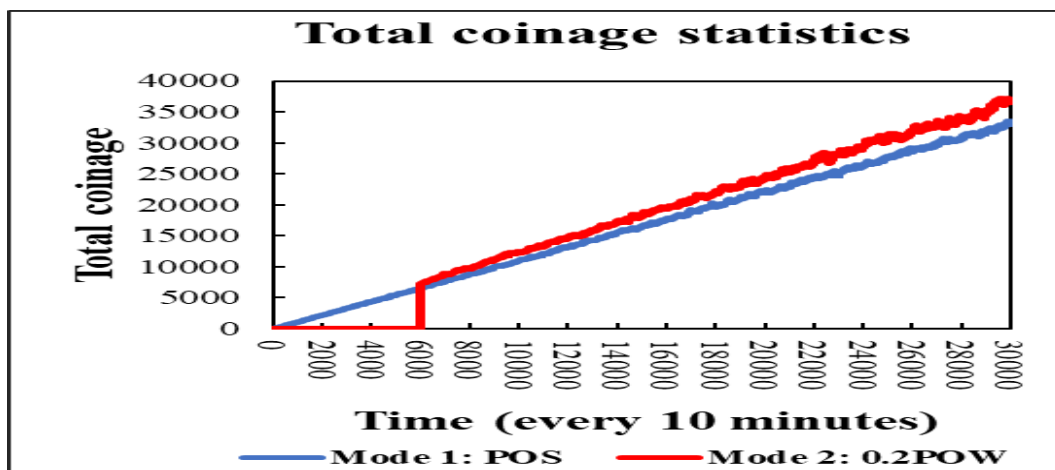
Fonte: ZHANG, Rong; CHAN, Wai Kin Victor. Evaluation of energy consumption in block-chains with proof of work and proof of stake. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, 2020, p. 012023.

Gráfico 2 - Processo de Consumo de energia



Fonte: ZHANG, Rong; CHAN, Wai Kin Victor. Evaluation of energy consumption in block-chains with proof of work and proof of stake. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, 2020, p. 012023.

Gráfico 3 - Estatísticas totais de cunhagem



Fonte: ZHANG, Rong; CHAN, Wai Kin Victor. Evaluation of energy consumption in block-chains with proof of work and proof of stake. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, 2020, p. 012023.

A razão pela qual o consumo de energia é menor no Modo 2 se deve porque, não obstante o Modo 2 consuma mais energia do que o Modo 1 nos períodos 20% iniciais, o Modo 1 esgota a energia mais rápido que o Modo 2 no restante do período. Além disso, a cunhagem de moedas total é maior no Modo 2 do que no Modo 1 no restante dos 80% do período. O total de cunhagem é uma forma efetiva de reduzir o consumo de energia. Mantendo o processo PoW na fase inicial do processo, torna a alocação de recursos mais razoável e aumenta a cunhagem total, o que torna possível a redução do consumo de energia.²³²

²³² ZHANG, Rong; CHAN, Wai Kin Victor. Evaluation of energy consumption in block-chains with proof of work and proof of stake. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, 2020, p. 012023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1584/1/012023/meta>. Acesso em: 16 out. 2021.

4. BLOCKCHAIN NO BRASIL: EXPERIÊNCIA, REGULAÇÃO E LGPD

No período de 16 de setembro de 2019 a 08 de novembro de 2019, a Secretaria de Fiscalização de Tecnologia da Informação (SEFTI) do Tribunal de Contas da União (TCU), no âmbito do processo nº 031.044/2019-9, da Relatoria do Ministro Aroldo Cedraz, realizou estudo técnico, buscando identificar as possíveis áreas de aplicação da *blockchain* no setor público. O estudo teve como objetivo levantar as vantagens e desvantagens da tecnologia, bem como verificar a possibilidade de auditoria e controle dessas redes. Os órgãos e entidades, objeto de análise, foram o BACEN, Banco do Brasil (BB), Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Caixa Econômica Federal (Caixa), Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência (DATAPREV), Receita Federal do Brasil (RFB), Secretaria Especial de Desburocratização, Gestão e Governo Digital (SGD), Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO), Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), ANAC, Instituto Nacional de Tecnologia da Informação (ITI) e MS.

Apontou-se, como os principais benefícios estimados do estudo, a compreensão do panorama geral sobre o estado da arte da tecnologia *blockchain* e os principais casos de uso no setor público do Brasil e no mundo, com a intenção de subsidiar gestores públicos com informações sobre a tecnologia, de modo que possam identificar possíveis funcionalidades.

A análise técnica realizada pelo TCU concluiu que, dentre as diversas áreas em que seria possível a implementação da tecnologia *blockchain* para uma maior eficiência dos serviços governamentais, estaria o processo tributário, a universalização de serviços de saúde, a criação de identidades digitais auto soberanas, a gestão de convênios, o acompanhamento de repasses financeiros e a prevenção à fraude e à lavagem de dinheiro. Entretanto, identificou-se uma falta de regulamentação para que se possa aproveitar todo o potencial dessas tecnologias e, assim, aumentar a produtividade e impulsionar a economia.²³³

²³³ BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia Blockchain**. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

A ausência de regulação estatal paralisa o mercado e a implementação das novas tecnologias, trazendo prejuízos incalculáveis à sociedade. O princípio constitucional do desenvolvimento sustentável traz a obrigatoriedade estatal de realizar uma regulação tendente a concretizar um desenvolvimento que seja inclusivo, ambientalmente limpo, probo e eficiente, de forma a se estender esse benefício às demais gerações.²³⁴

Nesse passo, regulamentar sistemas de inovação e as tecnologias disruptivas é fundamental, pois potencializa a efetivação dos direitos fundamentais, ao estabelecer, com a imparcialidade necessária, os comportamentos que se pretende, tanto de agentes de mercado como do próprio governo, com o objetivo final de maximizar a eficiência da produção e do consumo de bens e serviços.²³⁵

4.1 A *Blockchain* nas organizações públicas brasileiras

Não obstante os desafios da ausência de regulamentação, atualmente já se encontram em funcionamentos algumas aplicações de *blockchain* no setor público brasileiro. Nesse sentido, destaque-se que a RFB, em conjunto com a SERPRO criou o *bConnect* que se trata de uma ferramenta de colaboração para troca de dados entre os países do Mercosul. A letra *b*, que inicia o nome do programa, é uma referência direta à rede *blockchain*.

O *bConnect* permite o compartilhamento em rede de informações cadastrais das empresas certificadas pela Receita Federal como Operador Econômico Autorizado (OEA) e que usufruem de benefícios aduaneiros, tanto no Brasil quanto no exterior. Cada país integrante da rede inclui as informações relativas às suas empresas, OEA na rede *blockchain*, e essas informações são imediatamente visualizadas por aqueles países, cujo contrato eletrônico esteja estabelecido.²³⁶

²³⁴ FREITAS, Juarez. Regulação administrativa e os principais vieses. **Revista de Direito Administrativo e Constitucional**, Belo Horizonte, ano 16, n. 63, p. 93-105, jan./mar. 2016. Disponível em: http://www.bidforum.com.br/bidBiblioteca_periodico_pdf.aspx?i=239593&p=7 Acesso em: 08 out. 2020.

²³⁵ FREITAS, Juarez. Teoria da regulação administrativa sustentável. **Revista de Direito Administrativo**, Rio de Janeiro, v. 270, p. 117-145, set./dez. 2015. Disponível em: http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/11504/2/Teoria_da_Regulacao_Sustentavel.pdf. Acesso em: 08 out. 2020.

²³⁶ SERPRO. Serviço Federal de Processamento de Dados. **Serpro desenvolve rede *blockchain* para Receita Federal**. Disponível em: <https://www.serpro.gov.br/menu/imprensa/Releases/serpro-desenvolve-rede-blockchain-para-a-receita-federal>. Acesso em: 25 jul. 2020.

A nova ferramenta otimizou o processo e trouxe eficiência ao serviço oferecido, uma vez que antes da criação do *bConnect*, os países do Mercosul encaminhavam e-mails para a atualização dos cadastros das empresas, o que trazia morosidade ao procedimento. Outro problema solucionado foi o de falta de confiança entre os países, que hoje é garantida pela própria rede *blockchain*.²³⁷

Recentemente, a RFB colocou em operação o b-CPF e o b-CNPJ, com o objetivo de melhorar o ambiente de negócios e aplicar uma maior digitalização à economia brasileira.²³⁸ Trata-se de uma tecnologia baseada em *blockchain* que busca integrar a base de dados do CPF e da base de CNPJ.

Em um primeiro momento de implantação, o projeto criou uma rede onde apenas um dos nós fazia os registros (denominada de rede monóloga), utilizando a rede *blockchain* apenas como meio de comunicação protegida para transmissão dos dados.

Para o desenvolvimento desse projeto foram utilizadas redes permissionadas, ou seja, redes privadas em que apenas algumas pessoas possuíam a permissão para alterar os registros dos blocos. Foram criados dois tipos de participantes: proprietário do dado e o observador do dado. Como a proprietária dos dados do CPF e do CNPJ é RFB, apenas ela pode escrever ou alterar um dado referente a estes cadastros na rede. Já os demais órgãos da Administração Pública Federal apenas participam na condição de observadores do dado.

Com a evolução do projeto, implantou-se um modelo mais colaborativo, possibilitando aos demais órgãos encaminhar sugestões de alterações dos dados, as quais apenas são efetivadas com a concordância do seu proprietário. Encontra-se em fase de protótipo o b-CPF*i* que já é uma evolução do b-CPF, e tem por objetivo que o cidadão use da tecnologia para se identificar ao Estado. A letra “i” se refere à

²³⁷ BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia *Blockchain***. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uuiid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

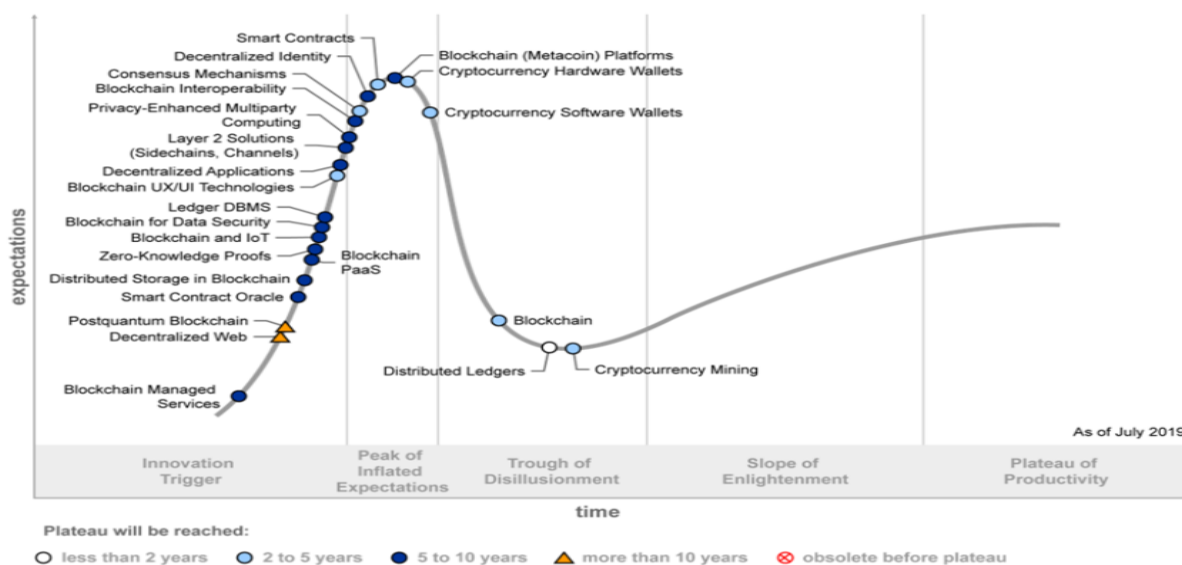
²³⁸ BRASIL. Receita Federal do Brasil **Receita Federal publica norma sobre compartilhamento de dados utilizando tecnologia *Blockchain***. Disponível em: <http://receita.economia.gov.br/noticias/ascom/2018/novembro/receita-federal-publica-norma-sobre-compartilhamento-de-dados-utilizando-tecnologia-blockchain>. Acesso em: 26 jul. 2020.

capacidade do cidadão de se identificar de forma inteligente, podendo ser utilizada a impressão digital, a imagem do rosto e a voz.^{239 240}

A este respeito, destaca-se que as identidades auto soberanas, também chamadas de identidades descentralizadas, têm sido um dos tópicos mais discutidos no mundo inteiro quando se trata de novas tecnologias. Para se ter ideia, em 08 de outubro de 2019, a consultoria americana Gartner publicou um comunicado à imprensa, onde demonstrava que, mesmo após dez anos de surgimento, as redes *blockchains* ainda tinham poder de impacto na sociedade. E um dos assuntos mais comentados, naquele ano, foi justamente as identidades descentralizadas, tal como a b-CPF*i*, que está sendo desenvolvida pela RFB.

Vejam-se os principais assuntos relacionados às *blockchains* discutidos no mundo no ano de 2019:

Gráfico 4 - Assuntos relacionados às *blockchains* discutidos no mundo no ano de 2019



Fonte: GARTNER. **Gartner 2019 Hype Cycle Shows Most Blockchain Technologies Are Still Five to 10 Years Away From Transformational Impact**, 08 out. 2019.

²³⁹ THOMPSON, Ronald Cesar. **Relato de Iniciativa nº 107**. Projeto b-CPF e b-CNPJ – *Blockchain* das bases de cadastro fiscal. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4727/1/Relato_1_lugar__Ronald.pdf. Acesso em: 26 jul. 2020.

²⁴⁰ BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia Blockchain**. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uuid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

No âmbito do BACEN, há dois projetos utilizando a tecnologia *blockchain*, o Sistema Alternativo de Liquidação de Transações (SALT) e a Plataforma de Integração de Informações das Entidades Reguladoras (PIER).

O SALT ainda se encontra em desenvolvimento e consiste em uma plataforma de contingência a ser utilizada em caso de pane do Sistema de Transferências de Reservas. O objetivo é que essa aplicação seja totalmente independente de um Banco Central e possa funcionar apenas com a colaboração dos participantes do sistema financeiro.

O SALT se utiliza de uma rede *blockchain* permissionada, onde as instituições financeiras e o Banco Central são os nós validadores, se utilizando da internet como infraestrutura de comunicação. Assim, os blocos da rede compartilham os dados referentes as reservas de cada instituição financeira, as quais são capazes de realizar transações entre si, sem necessidade de intervenção do Banco Central, já que a *blockchain* cria um sistema de liquidação distribuído com base em mecanismo de consenso independente.

Logo no início do projeto, a equipe técnica identificou que a transparência, intrínseca das redes *blockchains*, infringiria a privacidade entre as instituições financeiras, já que as informações gravadas nas redes revelaria dados financeiros sensíveis, o que fez com que vários tipos de plataforma fossem testadas, tendo sido escolhida a plataforma *Quorum* que suporta informações privadas e implementação de canais privados, atendendo ao requisito da privacidade entre os participantes, vez que uma instituição não pode enxergar o saldo de outra, nem as transações realizadas entre outras duas instituições.²⁴¹

No que toca ao projeto PIER, trata-se de uma plataforma baseada em tecnologia *blockchain* que permite a realização de processos autorizativos, como, por exemplo, a indicação de diretores para instituições financeiras, otimizando esses processos, já que permite a verificação instantânea de penalidades e sanções de um indicado a dirigente no sistema financeiro, perante as demais entidades reguladoras.

²⁴¹ BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia *Blockchain***. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uuiid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

Antes do PIER, os processos autorizativos eram manuais, ou seja, havia um servidor que entrava em contato com as demais instituições por ofício ou e-mail, o que tornava muito lento todo o processo.^{242 243}

No âmbito do BB, BNDES, Caixa e SERPRO, encontra-se em execução o projeto Sistema de Contratos Distribuídos (SCD) que busca o desenvolvimento de um sistema de compartilhamento de informações sobre contratações realizadas por empresas públicas, que são autorizadas por lei a aproveitar etapas de contratação de outras empresas públicas. Assim, a ferramenta possibilitará essa troca de informações a respeito de processos públicos de compras como consulta pública, oferta pública, aquisições de bens ou de serviços. Entre os impactos positivos dessa ferramenta, estão a agilização dos processos de compras, compartilhamento de contratos e uma melhor comparação de preços com base histórica. Além de garantir uma maior auditabilidade, vez que possibilita a exposição dos contratos com portal transparência para visualização por qualquer cidadão.²⁴⁴

O surgimento das *fintechs*, empresas *startups* que buscam inovação e otimização dos serviços no sistema financeiro, tem transformado a relação dos bancos com a população. A expressão é originada da mera junção de duas palavras da língua inglesa: *financial* e *technology*. Isso demonstra que cada vez mais a tecnologia está presente nas áreas financeiras, o que afeta diretamente o sistema bancário que precisa se reinventar para não se tornar ultrapassado.

Para se ter uma ideia da grandiosidade dessas *startups*, algumas delas chegam a valer mais um bilhão de dólares, o que demonstram sua relevância no mercado financeiro.

As *fintechs* surgem com o objetivo de democratizar os serviços financeiros, pois buscam uma maior disseminação desses negócios por meio da internet, facilitando seu acesso à uma camada maior da população, por um custo mais interessante que

²⁴² BRASIL. Banco Central do Brasil. **Plataforma do BC com tecnologia *blockchain* facilitará troca de dados na supervisão do sistema financeiro.** Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/249/noticia>. Acesso em: 26 jul. 2020.

²⁴³ BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia *Blockchain*.** Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uuiid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

²⁴⁴ BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia *Blockchain*.** Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uuiid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

os serviços oferecidos pelo sistema bancário.²⁴⁵ É possível afirmar que esta mudança no sistema financeiro é impulsionada por vários fatores, entre eles, a progressiva digitalização dos serviços, a pressão por redução de custos e a mudança de perfil dos utilizadores dos serviços, sobretudo pelo ingresso das gerações Y (*Millennials*) e Z (*Digital Natives*) no mercado.²⁴⁶

Cientes dessas mudanças, o BB, em parceria com a Caixa Econômica e o SICCOB, vêm desenvolvendo um projeto semelhantes às *fintechs*. Trata-se do Sistema Financeiro Digital (SFD) que propõe, através de uma rede permissionada de *blockchain*, a interligação entre diversas instituições financeiras, com o objetivo de que sejam realizadas operações de transferências de valores e pagamentos de forma simplificada, por meio de um aplicativo (*mobile banking*). A principal funcionalidade da aplicação é possibilitar a transferência de valores de forma imediata e simplificada entre clientes, se utilizando apenas do número do telefone como referência aos dados bancários.²⁴⁷

Outros tantos projetos de aplicações baseadas em *blockchain* estão em andamento junto ao Governo Federal, podendo-se citar o Sistema Brasileiro de Poderes, no âmbito no BB e PETROBRAS, que busca digitalizar o processo de registro de poderes, substituindo os processos manuais que definem, por exemplo, quem tem poderes para movimentar as contas de uma instituição. Há, também, o *BNDESToken*, que busca a criação de uma rede *blockchain* para a realização de operações de concessão de crédito e transferências de recursos do BNDES para entidades públicas e privadas tomadoras de financiamento. Também, no âmbito do BNDES, existe uma aplicação desenvolvida pelo Banco de Desenvolvimento do Governo da Alemanha (KFW), denominado *TruBudget*, que tem como objetivo

²⁴⁵ MELLO, Marcus Vinícius Ramon Soares de. *Fintechs: Conceito, Espécies e Discussões Relevantes*. **Revista de Direito Bancário e do Mercado de Capitais**, v. 85, p. 109-136, jul./set. 2019. Disponível em:

<https://www.revistadostribunais.com.br/maf/app/resultList/document?&src=rl&srguid=i0ad6adc50000017390596d8f48758ea6&docguid=l7d8fb780b5a611e9a96a010000000000&hitguid=l7d8fb780b5a611e9a96a010000000000&spos=4&epos=4&td=29&context=61&crumb-action=append&crumb-label=Documento&isDocFG=false&isFromMultiSumm=&startChunk=1&endChunk=1>. Acesso em: 27 jul. 2020.

²⁴⁶ OLIVEIRA, Andressa Jarletti Gonçalves de; DESIDÉRIO, Luiz Gustavo Mussolini. Resenha: “FinTech: Desafios da Tecnologia Financeira”, coordenado por Ana Perestrelo de Oliveira. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 417-421, maio/ago. 2018.

²⁴⁷ BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia Blockchain**. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uuid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

acompanhar de forma eficiente a utilização dos recursos financeiros doados por aquela instituição a diversos projetos apoiados em todo o mundo. Outra iniciativa baseada em *blockchain* é o Diário de Bordo, projeto da ANAC, que objetiva que todos os operadores aéreos, devidamente cadastrados, possam fazer uso dessa estrutura que possibilita o registro de diário de bordo das aeronaves com características de imutabilidade, auditabilidade e segurança. Por fim, encontra-se em desenvolvimento a RNDS, do MS, que se trata de um repositório de informações retrospectivas, simultâneas e prospectivas de pacientes em formato digital, com o objetivo de promover a saúde de forma integrada, contínua, eficiente e de qualidade, por meio de registros em *blockchain*, onde se armazena a história de interações entre pacientes e agentes de saúde.²⁴⁸

Evidente que todas essas mudanças e novas tecnologias aplicadas aos serviços públicos são salutares, mas sempre é importante destacar que quando o administrador público persegue a excelência na aplicação do princípio da eficiência, não pode se descurar dos demais princípios que regem à Administração Pública, sob pena de ser nula a decisão administrativa ou o ato praticado, por violação dos demais princípios regentes.

Nesse sentido, pode-se afirmar que somente será eficiente o ato administrativo que também respeita a legalidade, a impessoalidade, a moralidade e a publicidade. O princípio da eficiência não é estanque, devendo, necessariamente, estar concertado com os demais princípios.²⁴⁹

4.2 Regulação da tecnologia *blockchain*

A atividade regulatória se constitui em um instrumento de intervenção estatal no domínio econômico e social, inerente a boa administração pública e, que atualmente vem sendo desafiada pelas incessantes transformações pelas quais passa

²⁴⁸ BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia Blockchain**. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uuid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

²⁴⁹ GABARDO, Emerson. O princípio da eficiência. In: CAMPILONGO, Celso Fernandes; GONZAGA, Álvaro de Azevedo; FREIRE, André Luiz (Coords.). **Enciclopédia jurídica da PUC-SP**. Tomo: Direito Administrativo e Constitucional. Vidal Serrano Nunes Jr., Maurício Zockun, Carolina Zancaner Zockun, André Luiz Freire (Coord. de tomo). São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2017. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/82/edicao-1/principio-da-eficiencia,-o>. Acesso em: 14 out. 2020.

a sociedade.²⁵⁰ No Brasil, a inovação da ordem jurídica se dá por meio de um modelo organizacional baseado em agências, que dotadas de autonomia adotam uma configuração policêntrica da administração Pública, onde diversos atores da sociedade coexistem para conceder flexibilidade e comunicabilidade à intervenção reguladora.²⁵¹ A atividade regulatória não se identifica apenas com a finalidade de garantir a ordem econômica – proteção da competitividade, fortalecimento do mercado e ampliação do investimento da iniciativa privada - mas também possui objetivos de natureza social, garantindo o atendimento de interesses da coletividade.²⁵²

Inovações disruptivas, como a *blockchain*, apresentam grandes desafios regulatórios, isso porque se trata de tecnologias que estão em franco desenvolvimento e a regulação pode vir com alto grau de desatualização, tendo em vista o tempo que se leva para aprovação de regulamentos.

Em um ambiente de inovação disruptiva, informações relevantes para a criação das regras podem não se concretizar no futuro, o que torna a regulação pouco eficaz. As transformações futuras sofridas pela nova tecnologia trazem uma grande complexidade para a formulação das regras regulatórias. Ademais, a inovação se desenvolve muitas vezes mais rápido do que as normas regulatórias podem alcançar. Por sua natureza, a inovação disruptiva altera os paradigmas dos produtos tecnológicos existentes e fornece as bases para que novas tecnologias e produtos mais competitivos surjam. Todavia, a ausência de capacidade dos órgãos de regulação em lidar com tecnologias disruptivas pode gerar altos níveis de insegurança jurídica e, também, inibir a inovação durante períodos de transição tecnológica.

Atualmente, vive-se um momento de intensa transição tecnológica e normas regulatórias que não compreendam completamente a tecnologia podem gerar um inconveniente atraso em seu aperfeiçoamento, o que seria um prejuízo à

²⁵⁰ MOURA, Emerson Affonso da Costa. Agências, expertise e profissionalismo: o paradigma da técnica na administração pública. **Revista de Direito Administrativo**, v. 254, p. 67-94, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/295243010_Agencias_expertise_e_profissionalismo_o_paradigma_da_tecnica_na_administracao_publica. Com acesso em 07 fev. 2022.

²⁵¹ MOURA, Emerson Affonso da Costa. Estado regulador, direito humano-fundamental ao desenvolvimento e agências reguladoras. **Anuario de Derecho Constitucional Latinoamericano**, p. 57, 2017. Disponível em: http://bivicce.corteconstitucional.gob.ec/bases/biblo/texto/KONRAD/2017_ADC.pdf#page=53. Acesso em 07 fev. 2022.

²⁵² MOURA, Emerson Affonso da Costa. Estado gerencial, regulação econômica e serviços públicos – O papel das agências na promoção do desenvolvimento. **A&C-Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, v. 14, n. 57, p. 193-217, 2014. Disponível em: <http://www.revistaaec.com/index.php/revistaec/article/view/90>. Acesso em 06 fev. 2022.

sociedade.²⁵³ Tem sido bastante recorrente, na literatura jurídica, o reconhecimento da incapacidade de as instituições jurídicas reagirem às tecnologias inovadoras, devido à velocidade de sua transformação, enquanto processos de regulação estatal continuam lentos. Há evidente descompasso entre a inovação e a regulação, o que faz urgente a criação de alternativas no processo regulatório, sob pena de nos tornarmos reféns dos desenvolvedores que podem estar pensando no bem comum, como podem apenas estar buscando maximizar seus lucros em detrimento do direito dos usuários.²⁵⁴

No que tange especificamente à tecnologia *blockchain*, há entendimento de que sua regulação fica bastante prejudicada em razão da transnacionalidade de suas operações, da inexistência de intermediários públicos e pelo isolamento virtual dos negócios, vez que eles se projetam em bens e serviços imateriais. A internet TCP/IP possui seus atributos focados na informação e na comunicação. A *blockchain*, por seu turno, eleva esses atributos para o nível de transação e contratos. E mais, a característica descentralizada da rede a transforma em um sistema que não precisa estar vinculado a qualquer sistema legal nacional, pois seus nós podem estar localizados em qualquer lugar do planeta.

O que é possível fazer é aplicar a legislação específica de um determinado setor, onde a tecnologia é empregada. Por exemplo, em uma *blockchain* onde a eletricidade é comercializada, a rede deve atender às regulamentações aplicáveis à indústria de energia. Assim, leis de diferentes setores podem ser aplicadas à rede, a depender de seu uso.²⁵⁵

Apesar disso, diversos países têm criado legislações com a intenção de conceder maior segurança jurídica a essas operações. Uma das primeiras legislações surgidas, que buscou regular operações de criptomoedas praticadas por meio da *blockchain*, foi criada pelo *New York State Department of Financial Services* (NYDFS) que, em 2014, criou a necessidade de uma licença pública para intermediar

²⁵³ KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. How to Regulate Disruptive Innovation - From Facts to Data. *Jurimetrics*, v. 57, Issue n. 2, 2017. Forthcoming, U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-13. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2808044>. Acesso em: 26 out. 2021.

²⁵⁴ KAAL, Wulf A. Dynamic regulation for innovation. *Perspectives in Law, Business & Innovation* (Mark Fenwick, Wulf A. Kaal, Toshiyuki Kono & Erik PM Vermeulen eds.). New York Springer (2016), U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-22, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2831040. Acesso em: 29 out. 2021.

²⁵⁵ NAVES, Jeroen et al. Legal Aspects of Blockchain. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, v. 12; n. 3-4, p. 88-93, 2019. Disponível em: <https://direct.mit.edu/itgg/article/12/3-4/88/9850/Legal-Aspects-of-Blockchain>. Acesso em: 04 nov. 2021.

operações com criptomoedas já mineradas (*BitLicense*). Perceba-se que a regulação não buscou controlar a mineração da moeda por meio da *blockchain*, mas, sim, a sua operação financeira posterior, ou seja, pós-mineração. Assim, percebe-se que a preocupação da legislação se deu unicamente com a corretagem e não com o processo de criação e mineração das moedas, por meio da rede P2P.

No Brasil, encontra-se em discussão no Congresso o Projeto de Lei (PL) nº 2.303/2015 que objetiva regular os ativos criptográficos de pagamento.²⁵⁶ O PL brasileiro tem como principal objetivo impedir lavagem de dinheiro, outras atividades ilícitas, além de proteger o consumidor em face de corretoras, bolsas e *hackers*. Também é reconhecido no PL, a competência do Conselho de Controle de Atividades Financeiras (COAF) para fiscalizar e regular esses arranjos de pagamento.

A regulação de comercialização de criptomoedas tem causado grandes oscilações nos valores de mercado desses ativos, pois, de certa forma, elas vêm a retirar uma das suas principais características que é a sua imunidade às políticas macroeconômicas.

Como criptomoedas em regra não se submetem à autoridade de nenhum país, elas acabam sendo resistentes a mudanças das regras econômicas nacionais. Ocorre que a sua regulação e limitação vêm impor sobre elas a política fiscal do país regulador, causando grande volatilidade nos seus valores de mercado, devido à insegurança que sempre existe em relação às regras macroeconômicas.

Outra questão que deve ser sempre analisada, antes da regulação desses ativos, é verificar a eficácia da legislação, considerando justamente o fato da transnacionalidade dessas operações. Pode-se citar, como exemplo, o fato de que em dezembro de 2017, o Banco Central Chinês proibiu ofertas iniciais de moedas digitais – *Initial Coin Offering* (ICO). Por evidente, essa legislação apenas teve efeito no território chinês, mas as ofertas patrocinadas por chineses continuaram a ocorrer com registro em outros países. Portanto, desenvolvedores e compradores de moedas digitais chinesas continuaram normalmente com suas operações, com a diferença delas terem sido registradas e sediadas em outros países. Esse é um exemplo clássico do poder da rede *blockchain* e de sua imunidade a legislações nacionais

²⁵⁶ BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 2.303/2015**. Dispõe sobre a inclusão das moedas virtuais e programas de milhagem aéreas na definição de "arranjos de pagamento" sob a supervisão do Banco Central. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1555470> Acesso em: 02 dez. 2021.

restritivas, haja vista que não há delimitação territorial para as redes de cadeia de blocos. O lugar da cadeia de blocos é o ciberespaço, não havendo como delimitá-lo para que um determinado país o controle ou para que regras públicas nacionais incidam nesse ambiente. Nesse sentido, é possível afirmar que apenas uma legislação transnacional seria capaz de regular, de forma mais eficaz, a *blockchain* pública, tal como a que é usada nas criptomoedas.²⁵⁷

A transnacionalidade da lei é fundamental em razão de algumas peculiaridades das redes *blockchain*. A primeira delas é que no ciberespaço, os Estados soberanos são apenas mais um nó na cadeia de blocos e, portanto, não há possibilidade, por exemplo, de preservação de cláusulas exorbitantes ou a possibilidade de uma influência maior do Estado, como se observa nas relações comerciais clássicas. Outra questão é que, tal qual entes privados, o Poder Público possui condições de firmar contratos administrativos ou concretizar políticas públicas por meio da rede *blockchain*. O Estado pode também firmar compromissos internacionais com outras instituições ou nações de forma igualitária, por meio da rede, ou seja, a rede *blockchain* não fará diferenciação se o negócio está sendo feito entre a maior potência do planeta e o país mais pobre, o tratamento será isonômico, sem vieses.

Outra peculiaridade da rede que demonstra que apenas uma legislação transnacional poderia ter eficácia sob o seu funcionamento é que a rede de cadeia de blocos não é um produto ou um fornecedor, mas uma ferramenta para implemento e verificação de transações no ciberespaço, tendo natureza operacional, de simples meio para a execução de interação entre usuários que em tese possuem funções isonômicas na rede, no sentido de não haver hierarquia entre eles.²⁵⁸

É importante destacar que a transação comercial realizada, por exemplo, compra e venda de moedas digitais, é passível de regulação nacional. O que não é possível regular internamente são as bases da tecnologia *blockchain*, tendo em vista

²⁵⁷ SIMEÃO, Álvaro Osório do Valle; VARELLA, Marcelo Dias. A impossibilidade de regulação jurídica nacional do blockchain: rumo à um direito criptográfico? **Revista Direitos Culturais**, Santo Ângelo, v. 13, n. 31, p. 43-70, 2018. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/52a23eaae4b0a695ee3d229c/t/5d83c6bb3d971d6aab0af620/1568917180896/03++Marcelo+Varella++Impossibilidade+de+regulac%CC%A7a%CC%83o+juri%CC%81dica+nacional+do+Blockchain.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

²⁵⁸ SIMEÃO, Álvaro Osório do Valle; VARELLA, Marcelo Dias. A impossibilidade de regulação jurídica nacional do blockchain: rumo à um direito criptográfico? **Revista Direitos Culturais**, Santo Ângelo, v. 13, n. 31, p. 43-70, 2018. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/52a23eaae4b0a695ee3d229c/t/5d83c6bb3d971d6aab0af620/1568917180896/03++Marcelo+Varella++Impossibilidade+de+regulac%CC%A7a%CC%83o+juri%CC%81dica+nacional+do+Blockchain.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

suas características distribuídas, sem espaço certo para operação. Essas, sim, necessitam de um ambiente transnacional de regulação, como, por exemplo, a criação de uma convenção internacional que determinasse quais regimes de proteção aos investidores e consumidores seriam aplicáveis e em que locais vítimas de fraude ou falsas declarações podem iniciar seus processos.

Tendo em vista que as transações econômico-financeiras já existem há mais de uma década, já existe um Direito costumeiro em uso, fato este que não poderá ser esquecido em caso de criação de uma legislação transnacional. A existência desse Direito costumeiro aplicado às transações realizadas, por meio da *blockchain*, aponta, também, pela desnecessidade de uma legislação internacional exaustiva, bastando a criação de princípios ou regras gerais.²⁵⁹

Portanto, há um grave problema de diferença de ritmo entre o desenvolvimento da tecnologia e a criação das normas regulamentadoras, vez que as instituições jurídicas não possuem capacidade de reagir de forma satisfatória ao progresso das tecnologias disruptivas. Enquanto a tecnologia vai criando novas possibilidades e as pessoas passam a adotar essas novidades, a lei se direciona a resolver problemas antigos, sendo incapaz de acompanhar o processo tecnológico.²⁶⁰ Uma boa referência à evolução da tecnologia é a Lei de Moore que prevê a duplicação do número de transistores que podem ser colocados de forma barata em um circuito integrado a cada dois anos.²⁶¹

Tende-se a ignorar o fato de que a regulação tem efeito sobre o desenvolvimento da tecnologia, entendendo-se que as inovações são geradas de

²⁵⁹ SIMEÃO, Álvaro Osório do Valle; VARELLA, Marcelo Dias. A impossibilidade de regulação jurídica nacional do blockchain: rumo à um direito criptográfico? **Revista Direitos Culturais**, Santo Ângelo, v. 13, n. 31, p. 43-70, 2018. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/52a23eaae4b0a695ee3d229c/t/5d83c6bb3d971d6aab0af620/1568917180896/03++Marcelo+Varella++Impossibilidade+de+regulac%CC%A7a%CC%83o+juri%CC%81dica+nacional+do+Blockchain.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

²⁶⁰ MOSES, Lyria Bennett. Agents of change: How the law 'Copes' with technological change. **Griffith Law Review**, v. 20, n. 4, p. 763-794, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228183289_Agents_of_Change_How_the_Law_Copes_with_Technological_Change. Acesso em: 01 nov. 2021.

²⁶¹ "Em 1965 um dos fundadores da Intel, Gordon Moore, publicou um artigo sobre o aumento da capacidade de processamento dos computadores. Seu conteúdo ficou conhecido como a Lei de Moore. Desde que essa lei veio a público, todos os fabricantes de microprocessadores se sentiram na obrigação de dobrar a capacidade de processamento dos seus processadores a cada 18 meses, dando início à corrida pelo desempenho. Este artigo fornece um estudo sobre a história evolutiva dos processadores, comparando os modelos criados por dois dos maiores fabricantes, desde as primeiras gerações de processadores até as mais recentes tecnologias". ALMEIDA, Rafael Bruno. **Evolução dos Processadores**: comparação das famílias de processadores Intel e AMD. Instituto de Computação Unicamp, 2019. Disponível em: <https://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2009/T2/089065-t2.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2021.

forma autônoma, independente do estado em que a regulação se encontra. Entretanto, a regulação tem impacto na forma como a tecnologia é desenvolvida. Havendo uma regulamentação castradora, certamente isso impedirá sua evolução. A inovação será parcialmente determinada pela estrutura regulatória vigente, tais como regras concorrência, marketing, regras do consumidor, proteção ambiental e de saúde, marcas e patentes etc. Dificilmente um desenvolvedor irá investir em uma tecnologia que está fadada ao banimento legal ou às imposições de regras regulatórias que serão impossíveis de serem cumpridas. A inadequação do quadro regulatório, com imposições de encargos elevados que empresas desenvolvedoras não conseguem assumir, causa a paralização ou o desvirtuamento do desenvolvimento da tecnologia, o que, efetivamente, deve ser evitado sob pena da estagnação tecnológica.²⁶²

O papel da regulação é garantir o *compliance* da inovação em relação aos direitos fundamentais, maximizando os efeitos positivos e minimizando os efeitos negativos da tecnologia. Portanto, o Estado deve objetivar proporcionar um equilíbrio de forças entre o desenvolvedor, o usuário e o interesse público, buscando corrigir qualquer eventual falha no mercado. A regulação se presta desde a informar o usuário sobre o produto ou serviço, a evitar a concentração ou para fazer valer interesses públicos, tais como a redução de desigualdade, direitos do consumidor e desenvolvimento sustentável.²⁶³

Sob a perspectiva da lei e da tecnologia, o dever do Estado é regular eventuais conflitos travados entre a inovação e os direitos fundamentais ou com os objetivos estabelecidos pelas políticas públicas. Em um Estado Democrático de Direito, as tecnologias devem operar com estrito cumprimento dos direitos humanos e das demais regras constitucionais democraticamente estabelecidas. Em última análise, o dever da regulação é resguardar os direitos fundamentais. Além disso, a função de resguardar os direitos fundamentais frequentemente está ligada a questões morais e

²⁶² BUTENKO, Anna; LAROUICHE, Pierre. Regulation for Innovativeness or Regulation of Innovation? 2015. **TILEC Discussion Paper n. 2015-007**. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2584863. Acesso em: 29 out. 2021. Veja também: MOSES, Lyria Bennett. Agents of change: How the law 'Copes' with technological change. **Griffith Law Review**, v. 20, n. 4, p. 763-794, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228183289_Agents_of_Change_How_the_Law_Copes_with_Technological_Change. Acesso em: 01 nov. 2021.

²⁶³ MARRARA, Thiago; GASIOLA, Gustavo Gil. Regulação de novas tecnologias e novas tecnologias na regulação. **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 1, n. 2, p. 117-144, maio/ago. 2020. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/514/271>. Acesso em: 30 out. 2021.

éticas, como, por exemplo, nas técnicas avançadas a respeito da reprodução humana e clonagem, onde o aspecto ético e moral é muito grande.²⁶⁴

Uma regulação tradicional *ex post facto* normalmente produz resultados insuficientes e que não se sustentam, vez que a inovação disruptiva acelera e causa alterações sociais muitas vezes imprevisíveis. Um dos pré-requisitos para a formulação de regras é a disponibilidade de informações a respeito do funcionamento e do alcance daquela tecnologia no dia a dia da sociedade, não havendo essas informações de forma sedimentada, a regulação certamente fracassará e, pior, poderá minar a evolução da tecnologia e causar um grande mal social. Algo fundamental em uma norma regulatória é o *timing*, pois se a tecnologia for regulada muito cedo há risco de inibir a inovação e, por outro lado, se for muito tarde, poderá haver risco e grave prejuízo à população. O prazo para a formulação de normas na infraestrutura regulatória atual pode ser inadequado para novas tecnologias disruptivas. No processo regulatório atual, os agentes reguladores promovem audiências públicas, proposição de regras, apresentação de pareceres, gerando, ao final, a norma regulamentadora. Entretanto, esse processo é uma fotografia do estágio atual da tecnologia e não representará eventuais evoluções que podem advir logo após a vigência da norma regulamentadora, gerando um vácuo regulatório.²⁶⁵

Há consenso no meio acadêmico de que as novas tecnologias precisam de uma abordagem regulatória diferenciada, mais reflexiva e cooperativa, se utilizando tanto de regras públicas como de privadas. Portanto, há necessidade de uma reforma regulatória nesse campo que deve se voltar tanto para a acelerada transformação da tecnologia quanto pela evolução de seu uso pelos cidadãos, isso para que as regras regulatórias possam desempenhar um papel relevante nas mudanças que estão a ocorrer mundialmente, pois assim como as tecnologias estão evoluindo, a forma como as pessoas enxergam o mundo também está sendo alterada e a legislação regulatória deve espelhar essas mudanças.

²⁶⁴ BUTENKO, Anna; LAROUICHE, Pierre. Regulation for Innovativeness or Regulation of Innovation? 2015. **TILEC Discussion Paper n. 2015-007**. Disponível em:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2584863. Acesso em: 29 out. 2021.

²⁶⁵ KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. How to Regulate Disruptive Innovation - From Facts to Data. **Jurimetrics**, v. 57, Issue n. 2, 2017. Forthcoming, U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-13. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2808044>. Acesso em: 26 out. 2021. Veja também: KAAL, Wulf A. Dynamic regulation for innovation. **Perspectives in Law, Business & Innovation (Mark Fenwick, Wulf A. Kaal, Toshiyuki Kono & Erik PM Vermeulen eds.)**. New York Springer (2016), U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-22, 2016. Disponível em:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2831040. Acesso em: 29 out. 2021.

Regulações mais informais têm sido apresentadas como remédio para as novas tecnologias, pois, segundo alguns acadêmicos, a informalidade traria flexibilidade para acompanhar a rápida evolução tecnológica. Poderiam ser adotadas, por exemplo, cartas de recomendações para indústrias disruptivas, onde constariam os princípios e regras gerais a serem seguidos. Esses meios informais poderiam evitar uma fixação de regras regulamentares fixadas de forma inadequada em razão do pouco conhecimento técnico do órgão regulamentador ou mesmo da evolução da tecnologia. Outro ponto é que os meios informais de regulação podem ser ajustados rapidamente na medida que haja uma evolução da tecnologia ou quando surgirem os primeiros problemas referentes ao seu uso.²⁶⁶

Algumas soluções vêm sendo apresentadas para resolver o problema de ritmo entre a regulação e a tecnologia, dentre elas pode-se destacar com maior ênfase a regulação dinâmica, que busca a integração com elementos dinâmicos tais como *feedbacks* na regulação; regulação baseada em princípios, que enfatiza princípios orientadores gerais e abstratos; autorregulação ou regulação cooperativa, segundo a qual a indústria se autorregula sob a supervisão da agência reguladora; criação de tribunais especializados que fornecem decisões legais mais rápidas e sofisticadas em casos envolvendo tecnologias disruptivas de rápida transformação; cláusulas do pôr do sol, que resultam na expiração automática da legislação após um determinado período de tempo, exigindo que a autoridade reguladora faça uma revisão da norma regulamentadora e as *sandbox* regulatórias, que se tratam de ambientes seguros monitorados, onde a tecnologia é testada livre de regulamentos rígidos e garantindo a segurança dos usuários.²⁶⁷ Os modelos de regulação dinâmica, regulação baseada em princípios e *sandbox* regulatórias, serão melhor explicados nos tópicos seguintes.

²⁶⁶ MARCHANT, Gary E. The growing gap between emerging technologies and the law. The growing gap between emerging technologies and legal-ethical oversight. **Springer Link**, Dordrecht, 2011. p. 19-33. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_2 Acesso em: 01 nov. 2021. Veja também: KAAL, Wulf A. Dynamic regulation for innovation. **Perspectives in Law, Business & Innovation (Mark Fenwick, Wulf A. Kaal, Toshiyuki Kono & Erik PM Vermeulen eds.)**. New York Springer (2016), U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-22, 2016. Disponível em:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2831040. Acesso em: 29 out. 2021. Ainda nesse sentido consulte: BLACK, Julia. Forms and paradoxes of principles-based regulation. **Capital Markets Law Journal**, v. 3, n. 4, p. 425-457, 2008. Disponível em:

<https://academic.oup.com/cmjlj/article/3/4/425/430498?login=true>. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁶⁷ MARCHANT, Gary E. The growing gap between emerging technologies and the law. The growing gap between emerging technologies and legal-ethical oversight. **Springer Link**, Dordrecht, 2011. p. 19-33. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_2 Acesso em: 01 nov. 2021. Veja também: FENWICK, Mark; KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. Regulation tomorrow:

4.2.1 Regulação dinâmica

Uma das alternativas ao processo de regulação tradicional é regulação dinâmica que utiliza como parâmetro para o processo regulatório eventos anteriores e posteriores à norma reguladora, usando de informações descentralizadas para facilitar os efeitos de *feedback* para a formulação de regras antecipatórias.

A regulação dinâmica permite a superação da regulação tradicional que foca no processo de criação de regras estáveis, e presumidamente ótimas, baseando-se apenas em eventos anteriores para criar regras em uma estrutura dinâmica, que é impulsionada pelo poder inovador e disruptivo da tecnologia. Passa-se, então, de um processo reativo para proativo e dinâmico de forma a abarcar todas as transformações e evoluções da tecnologia na vigência da regra regulamentadora.

O processo de regulação existente pressupõe uma estabilidade na forma de funcionamento do objeto regulado, o que não ocorre no campo das tecnologias disruptivas. Já a regulação dinâmica usa com muito mais eficiência as informações específicas da instituição a ser regulada para possibilitar, assim, as adaptações futuras.²⁶⁸

A regulação dinâmica pode ser utilizada como um complemento ao marco regulatório já existente, auxiliando na otimização da estrutura e na solução de problemas surgidos com a transformação da tecnologia emergente. Também, pode servir como instrumento para substituir a judicialização dos litígios surgidos da relação entre agentes reguladores e regulados.

Discutir questões regulatórias referentes às tecnologias disruptivas no foro judicial pode ser inviável, haja vista a ausência de conhecimento específico do foro judicial sobre a tecnologia e o principal, a questão do problema de ritmo, ou seja, a transformação da tecnologia é tão ágil que judicializar questões pode paralisar o seu desenvolvimento ou tornar sem efeito decisões tardias, trazendo graves prejuízos.

Assim, a utilização de mecanismos regulatórios dinâmicos, tais como o Acordos de Acusação Diferidos – *Deferred Prosecution Agreements* (DPAs), onde a

what happens when technology is faster than the law. **Am. U. Bus. L. Rev.**, v. 6, p. 561, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2834531. Acesso em: 01 nov. 2021.

²⁶⁸ KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. How to Regulate Disruptive Innovation - From Facts to Data. **Jurimetrics**, v. 57, Issue n. 2, 2017. Forthcoming, U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-13. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2808044>. Acesso em: 26 out. 2021.

Agência Reguladora fará uma acusação contra o agente regulado, mas concorda em não avançar na acusação, desde que este se comprometa a cumprir certos requisitos e condições, que uma vez cumpridos excluirão a acusação, pode redundar na produção relevante e atualizada de informações descentralizada de alta qualidade que auxiliará no aperfeiçoamento das regras regulatórias. Os DPAs podem ser um caminho adequado para enfrentar o problema de ritmo das novas tecnologias, principalmente pelo efeito *feedback* e pelo alerta em relação aos pontos de atenção na questão regulatória específica da tecnologia.²⁶⁹

Em um mundo ideal, a regulação deveria vir sempre antes do objeto regulado. Entretanto, em se tratando de tecnologias inovadoras isso é quase impossível, haja vista justamente o problema de ritmo.

Além disso, muitas vezes o estágio inicial de desenvolvimento da tecnologia oferece informações inexatas, o que poderá gerar regras reguladoras impossíveis de se aplicar no futuro. Portanto, o amadurecimento da tecnologia deve vir de forma concomitante com o das normas reguladoras.

Nesse sentido, a regulação dinâmica ganha evidência, pois ela se baseia em informações aprimoradas, atualizadas, de alta qualidade advinda de diversos agentes, sendo, portanto, descentralizada, o que faz com que ela tenha uma assertividade ainda maior. Além disso, se baseia em *feedbacks*, o que faz com que o agente regulador tenha a real dimensão de como as normas reguladoras estão funcionando na prática. Dentro das premissas do marco regulatório dinâmico, haverá intervenção regulatória somente quando necessário.²⁷⁰

A regulamentação dinâmica também é positiva porque com menos regras estáveis, os grupos latentes e os grupos minoritários dominantes têm menos oportunidades de influenciar o processo de regulamentação. Da mesma forma, os ciclos regulatórios e a criação de regras por tentativa e erro tornam-se menos prevalentes porque os processos de criação de regras adaptáveis complementam as

²⁶⁹ KAAL, Wulf A. Dynamic regulation for innovation. **Perspectives in Law, Business & Innovation** (Mark Fenwick, Wulf A. Kaal, Toshiyuki Kono & Erik PM Vermeulen eds.). New York Springer (2016), U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-22, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2831040. Acesso em: 29 out. 2021

²⁷⁰ KAAL, Wulf A. Dynamic regulation for innovation. **Perspectives in Law, Business & Innovation** (Mark Fenwick, Wulf A. Kaal, Toshiyuki Kono & Erik PM Vermeulen eds.). New York Springer (2016), U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-22, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2831040. Acesso em: 29 out. 2021.

regras estáveis com recursos adaptativos que tornam as revisões de regras menos frequentes e minimizam a criação de regras por tentativa e erro.²⁷¹

4.2.2 Regulação por princípios gerais

Considerando as peculiaridades das inovações disruptivas e sua frequente atualização, talvez a melhor forma de as regular seja por meio de princípios gerais, pois qualquer regra material mais específica não terá velocidade e flexibilidade suficiente para representar a realidade.²⁷² Assim, ao invés de regulação rígida baseada em regras, a regulação lastreada em princípios enfatizaria princípios orientadores gerais e abstratos, buscando os resultados regulatórios desejados.²⁷³

A utilização de princípios, ao invés de regras, dá às empresas uma maior discricção para que possam determinar como melhor aplicá-los às suas práticas. Além de concederem maior flexibilidade à empresa, os princípios proporcionam uma maior agilidade para se adaptarem a novas situações e contextos que surgem no desenvolvimento de uma determinada tecnologia.

A regulação baseada em princípios está focada nos resultados, o que possibilita um maior incentivo e colaboração dos desenvolvedores, com foco na solução de problemas, a fim de buscar o cumprimento efetivo da regra principiológica. Isso traz um ganho em relação às pesadas tentativas de se manter em conformidade com um sistema baseado em regras inflexíveis.

Neste sentido, o procedimento a ser adotado pela agência reguladora é buscar identificar os princípios gerais que as empresas devem cumprir e, posteriormente, cada empresa desenvolve sua própria interpretação, estrutura e melhores práticas para alcançar os objetivos principiológicos. Essa forma de abordagem regulatória é

²⁷¹ KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. How to Regulate Disruptive Innovation - From Facts to Data. *Jurimetrics*, v. 57, Issue n. 2, 2017. Forthcoming, U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-13. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2808044>. Acesso em: 26 out. 2021.

²⁷² FENWICK, Mark; KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. Regulation tomorrow: what happens when technology is faster than the law. *Am. U. Bus. L. Rev.*, v. 6, p. 561, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2834531. Acesso em: 01 nov. 2021. Veja também: KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. How to Regulate Disruptive Innovation - From Facts to Data. *Jurimetrics*, v. 57, Issue n. 2, 2017. Forthcoming, U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-13. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2808044>. Acesso em: 26 out. 2021.

²⁷³ KAAL, Wulf A. Dynamic regulation for innovation. *Perspectives in Law, Business & Innovation* (Mark Fenwick, Wulf A. Kaal, Toshiyuki Kono & Erik PM Vermeulen eds.). New York Springer (2016), U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-22, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2831040. Acesso em: 29 out. 2021.

uma vantagem, principalmente naqueles casos em que é impossível criar regras específicas para todos os cenários possíveis ou quando é impossível prever quando e quais circunstâncias mudarão.²⁷⁴

A regulação, com base em princípios gerais, trabalha basicamente com a presunção de boa-fé, confiando que as empresas reguladas estão bem-intencionadas e preparadas para plena cooperação com o órgão regulador. A ideia proposta não é desregulamentar, mas propor uma relação de regulação baseada na responsabilidade, mutualidade e confiança.²⁷⁵ Há, aqui, uma significativa mudança na interação do ente regulador com o regulado, se comparado com o sistema tradicional de regras rígidas. O sistema principiológico exige que ambas as partes trabalhem juntas para buscar a melhor interpretação do princípio geral e quais as formas de materializar isso no uso do produto ou do serviço no dia a dia. Portanto, trata-se de uma relação muito mais próxima e interativa, indo além da mera supervisão e inspeção realizadas no sistema tradicional. Há, aqui, uma maior flexibilidade e dinamismo por parte do ente regulador, devendo este informar com clareza as metas e os resultados que as empresas devem alcançar, sem perder tempo com divergências técnicas de somenos importância, direcionando sua energia para solução de problemas mais urgentes. Não obstante esteja se tratando de um processo de regulação mais flexível, isso não deve inibir uma atuação firme e consistente do órgão regulador, garantindo que as empresas sejam inovadoras, mas que, por outro lado, respeitem todos os princípios estabelecidos. Deve o regulador continuar a resolver disputas e aplicar sanções quando houver desrespeito às regras principiológicas.²⁷⁶

A regulação baseada em princípios está de acordo com as estratégias da “nova governança” ou da “regulação descentralizada” que busca afastar a ideia de que o Estado possui o monopólio do poder de controle e da regulação. Portanto, regimes de regulação descentralizada vem em oposição aos chamados regulamentos de “comando e controle”, *Command And Control* (CAC), tradicionais, onde há

²⁷⁴ CARTER, Ruth B.; MERCHANT, Gary E. Principles-based regulation and emerging technology. The Growing Gap Between Emerging Technologies and Legal-Ethical Oversight. **Springer Link**, Dordrecht, 2011. p. 157-166. Disponível em:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_10. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁷⁵ BLACK, Julia. Forms and paradoxes of principles-based regulation. **Capital Markets Law Journal**, v. 3, n. 4, p. 425-457, 2008. Disponível em:

<https://academic.oup.com/cmlj/article/3/4/425/430498?login=true>. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁷⁶ CARTER, Ruth B.; MERCHANT, Gary E. Principles-based regulation and emerging technology. The Growing Gap Between Emerging Technologies and Legal-Ethical Oversight. **Springer Link**, Dordrecht, 2011. p. 157-166. Disponível em:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_10. Acesso em: 30 out. 2021.

regramentos regulatórios rígidos impostos de forma unilateral pelo Estado. Essa regulação pressupõe a fixação de regras rígidas acompanhadas de sanções para os casos de descumprimento. Os regulamentos com base na ideia de “comando e controle” sofreram diversas críticas, principalmente em razão de regras mal formuladas, rigidez excessiva, engessamento do desenvolvimento do produto ou serviço regulado, impossibilitando sua evolução.²⁷⁷

A ideia de regimes regulatórios policêntricos ou descentralizados é justamente fazer frente a essas críticas, pois se constituem em técnicas de regulação, onde o Estado não é o único detentor de autoridade, sendo marcados pela fragmentação, complexidade e interdependência entre diferentes atores, estatais e não estatais.

Embora os termos policêntricos e descentralizados sejam tratados como sinônimos, ambos chamam atenção para peculiaridades distintas dessa forma de regulação. Enquanto o termo descentralizado diz respeito à negação do monopólio estatal na regulação; policêntrico vem no sentido da multiplicidade de atores e de locais onde a regulação acontece, podendo ocorrer em níveis subnacionais, nacionais e transnacionais.

É possível extrair três dimensões da análise descentralizada da regulação: organizacional, conceitual e estratégica. Sob o aspecto organizacional, destaca-se o caráter de multiplicidade de atores que constituem o regime regulatório em um determinado setor. A dimensão conceitual reflete o entendimento quanto à natureza do problema regulatório nas relações Estado-sociedade, intra-estado e intra-sociedade. O conceito de regulação descentralizada orbita em torno de cinco noções centrais: complexidade, fragmentação, interdependência, ingovernabilidade e rejeição de uma clara distinção entre público e privado. A ausência de distinção entre público e privado é no sentido de que tanto o agente desenvolvedor regulado, quanto o Estado regulador possuem as mesmas responsabilidades no processo regulatório. A regulação aqui se constitui em uma relação dialética entre o público e o privado, entre o regulado e o regulador. No que tange à dimensão estratégica do regime de regulação por princípios, ele se caracteriza por ser híbrido, vez que combina atores

²⁷⁷ BLACK, Julia. Decentring regulation: Understanding the role of regulation and self-regulation in a 'post-regulatory' world. **Current legal problems**, v. 54, n. 1, p. 103-146, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/JuliaBlack9/publication/30527050_Decentring_Regulation_Understanding_the_Role_of_Regulation_and_SelfRegulation_in_a_'PostRegulatory'_World/links/00b4952eb889c858c6000000/Decentring-Regulation-Understanding-the-Role-of-Regulation-and-Self-Regulation-in-a-Post-Regulatory-World.pdf. Acesso em: 30 out. 2021.

governamentais e privados; multifacetado, por se utilizar de estratégias diferentes de forma simultânea e sequencial e de forma indireta.²⁷⁸

Uma das claras vantagens da regulação baseada em princípios é que neste regime os objetivos regulatórios são considerados mais importantes que a letra da norma reguladora, o que aumenta a probabilidade de sucesso e reduz o risco de se perder em tecnicidades vazias. Além de que há um maior incentivo a uma regulação efetiva e evita comportamentos oportunistas de buscar brechas na legislação desde que seja preenchido o *checklist*. Portanto, as empresas devem cumprir o espírito do regulamento e não meramente requisitos formais nela dispostos. Nesse sentido, vale ressaltar que mesmo regras bem redigidas não conseguem abarcar todas as condutas indevidas, o que, inevitavelmente, criará lacunas que podem ser preenchidas de forma criativa pelo ente regulado.

Outra vantagem é a maior flexibilidade para os empresários desenvolvedores na hora de aplicar a regra principiológica reguladora. Cada regulado tem flexibilidade para determinar como cada princípio se aplicar ao seu produto ou serviço, permitindo que tenham mais opções e caminhos para cumprir suas metas regulatórias.

O fato de se tratar de uma regulação mais dinâmica e adaptativa também é uma vantagem, sobretudo quando se fala em tecnologias disruptivas, pois a interpretação de seus princípios pode se adaptar mais rapidamente às mudanças de circunstâncias referente aos produtos e serviços regulados.

Em razão de serem escritos de forma mais geral, os princípios são mais resilientes e mantêm sua relevância, mesmo em se tratando de novas tecnologias que evoluem em grande velocidade. O fato de haver uma redução das obrigações por parte dos entes regulados na regulação por princípios gerais, torna a relação com o órgão regulador muito melhor, havendo uma aceitação maior da regra reguladora, pois as decisões referentes à regulação passam a ser parte integrante da tomada de decisões empresariais. O regulador passa a ser visto como um aliado e não como um adversário a ser combatido.²⁷⁹

²⁷⁸ BLACK, Julia. Constructing and contesting legitimacy and accountability in polycentric regulatory regimes. **Regulation & governance**, v. 2, n. 2, p. 137-164, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1748-5991.2008.00034.x>. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁷⁹ CARTER, Ruth B.; MARCHANT, Gary E. Principles-based regulation and emerging technology. *The Growing Gap Between Emerging Technologies and Legal-Ethical Oversight*. **Springer Link**, Dordrecht, 2011. p. 157-166. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_10. Acesso em: 30 out. 2021.

Por outro lado, algumas limitações aos regulamentos, com base em princípios gerais, também devem ser ponderadas. A incerteza que vive o ente regulado em saber se sua forma de aplicar os princípios está de acordo com o entendimento do órgão regulador é uma desvantagem. Na medida que buscam aplicar os princípios às suas operações, as empresas não saberão se suas ações estão de acordo com o entendimento que o órgão regulador tem dos princípios.

Da mesma forma, como os princípios estão abertos a várias interpretações, será mais difícil identificar quando um princípio foi violado. A crítica que se faz é que há a possibilidade de empresas serem responsabilizadas por situações passadas, por ações baseadas em interpretações que, no momento da tomada das decisões, pareciam razoáveis.

No Brasil, buscando resolver este problema, a Lei nº 13.655/2018 alterou a Lei de Introdução as Normas do Direito Brasileiro (Decreto-Lei nº 4.657/1942), incluindo o Art. 24, o qual estabelece expressamente a vedação da aplicação retroativa da nova orientação nas esferas administrativa, controladora ou judicial, impossibilitando que, com base em mudança posterior de orientação geral, se declarem inválidas situações plenamente constituídas”.²⁸⁰ Não obstante, antes mesmo do advento da reforma da LINDB, a Lei nº 9.784/1999, que regula o processo administrativo no âmbito da Administração Pública Federal, já estabelecia em seu artigo 1º, inciso XIII, que a “interpretação da norma administrativa da forma que melhor garanta o atendimento do fim público a que se dirige, vedada aplicação retroativa de nova interpretação”.²⁸¹

Em regimes de regulação mais flexíveis como o analisado nesse tópico, deve se estar sempre atento ao fenômeno da potencial captura das Agências Reguladoras. A *teoria da captura* foi desenvolvida por volta dos anos de 1970 por Stigler e Jordan e teve como base as relações espúrias envolvendo empresas monopolistas e políticos, estes buscando recursos e votos em troca de seu apoio a normas reguladoras que facilitem a vida de seus aliados.²⁸² Esta captura se traduz na atuação das Agências Reguladoras voltada ao atendimento dos interesses dos entes regulados ou de agentes políticos, em detrimento dos interesses dos consumidores,

²⁸⁰ BRASIL. **Decreto-Lei nº 4.657/1942**. Lei de Introdução as Normas do Direito Brasileiro. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del4657.htm. Acesso em: 26 jan. 2022.

²⁸¹ BRASIL. Lei nº 9.784/1999. Regula o Processo Administrativo no âmbito da Administração Pública Federal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9784.htm. Acesso em: 26 jan. 2022.

²⁸² BASSO, Leonardo Fernando Cruz; SILVA, Marcelo Roque da. Reflexões sobre a regulamentação. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 4, p. 67-85, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/Sr3XD7nLLJvfmyMzDzkKfdj/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 jan. 2022.

causando sério desequilíbrio nas relações de consumo. A captura das Agências Reguladoras desvirtua o seu papel de proteção dos interesses da sociedade para defender o interesse de um político ou de uma classe de empresários, com intuito de aumentar suas margens de lucro.²⁸³

Há, também, o risco de que com o passar do tempo os empresários passem a agir sempre da mesma forma, transformando as interpretações dadas aos princípios e aceitas pelo órgão regulador como regras, frustrando o espírito do regime de regulação com base em princípios que é a ação inovadora que busca sempre a evolução do produto ou do serviço. Agindo, dessa forma, os regulados passam a restringir o uso dos princípios em vez de arriscar a usá-los de forma inovadora, mas que, eventualmente, possam ser rejeitados pelo órgão regulador.²⁸⁴

A regulação baseada em princípios parece uma ferramenta idônea para regulação de tecnologias disruptivas que estão em franco desenvolvimento. Entretanto, nada impede que, com o amadurecimento da tecnologia e com sua estabilidade funcional e técnica, se passe a adotar uma regulação baseada em regras mais rígidas, de forma a conceder maior segurança ao empresário. Assim, o Governo terá tempo de colher as informações e experiências necessárias para formalizar com segurança regras que atendam a todos os envolvidos.²⁸⁵

4.2.3 *Sandbox* regulatórias

No cenário de regulação de novas tecnologias é comum que o próprio agente regulador não tenha conhecimento suficiente a respeito da tecnologia e não saiba como ela se comportará na prática. Para tentar solucionar esse problema, já vem sendo utilizado, no Brasil, a *sandbox* regulatória que se constitui em um mecanismo de desenvolvimento regulatório capaz de acompanhar a velocidade imposta pelas inovações. O interessante desse instituto é que as ideias, produtos e serviços podem

²⁸³ DA SILVA, Luiz Alberto. A teoria da captura: o dilema entre o interesse público e o privado. 2017. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas do Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/53411>. Acesso em: 25 jan. 2022.

²⁸⁴ CARTER, Ruth B.; MARCHANT, Gary E. Principles-based regulation and emerging technology. The Growing Gap Between Emerging Technologies and Legal-Ethical Oversight. **Springer Link**, Dordrecht, 2011. p. 157-166. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_10. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁸⁵ MARCHANT, Gary E.; SYLVESTER, Douglas J.; ABBOTT, Kenneth W. Risk management principles for nanotechnology. **NanoEthics**, v. 2, n. 1, p. 43-60, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11569-008-0028-9>. Acesso em: 30 out. 2021.

ser testados ao vivo e de forma segura, tanto para desenvolvedores quanto para os usuários/consumidores.²⁸⁶

O termo *sandbox* (caixa de areia) remete às caixas de areia presentes em parques e praças, onde crianças brincam sob a supervisão dos pais, ou seja, em um ambiente monitorado e controlado. Daí advém a ideia de criar espaços, onde as novas tecnologias (como as redes *blockchain*) possam ser testadas, mas em um ambiente controlado, sem riscos à Administração Pública e aos usuários. Criam-se então, os chamados “ambientes de testes”, “áreas de testes” ou “bancos de testes”, onde a nova tecnologia disruptiva é colocada em prática sob a supervisão governamental, evitando danos à população.²⁸⁷

A primeira *sandbox* regulatória foi lançada no Reino Unido, em 2014, pela *Financial Conduct Authority* (FCA) que lançou um projeto denominado “*Project Innovate*” que possibilitava às empresas *fintechs* testar seus produtos e serviços inovadores em um ambiente real e seguro, tanto para os desenvolvedores quanto para os consumidores. O projeto foi um sucesso e, a partir daí, vários outros países passaram a usar das *sandboxes* regulatórias, tanto para o mercado das *fintechs* como para outras tecnologias emergentes.²⁸⁸

Para selecionar quem estará sujeito às regras do *sandbox*, o agente regulador, pautado em alguns critérios que podem variar a depender da natureza do produto ou serviço, realiza um juízo prévio de conveniência e oportunidade. Uma vez selecionados, o agente regulado se beneficia de regras de regulação mais flexíveis, distintas daquelas aplicadas em um regime normal.

No Brasil, a *sandbox* regulatória começou a ser idealizada em 2019, quando o Ministério da Economia juntamente com a Comissão de Valores Imobiliários (CVM) e a Superintendência de Seguros Privados (SUSEP) anunciaram a intenção de criar *sandboxes* regulatórias focadas em testar novas tecnologias, incluindo a *blockchain*.

²⁸⁶ FENWICK, Mark; KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. Regulation tomorrow: what happens when technology is faster than the law. **Am. U. Bus. L. Rev.**, v. 6, p. 561, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2834531. Acesso em: 01 nov. 2021.

²⁸⁷ FEIGELSON, Bruno. Sandbox: Primeiras Reflexões a Respeito do Instituto. **Revista de Direito e as Novas Tecnologias**, v. 1, out./dez. 2018. Disponível em: <https://www.revistadostribunais.com.br/maf/app/resultList/document?&src=rl&srguid=i0ad6adc5000001738c805138c3b3f06b&docguid=I71f17070f2de11e8be9f010000000000&hitguid=I71f17070f2de11e8be9f010000000000&spos=3&epos=3&td=5&context=38&crumbaction=append&crumblabel=Document&isDocFG=false&isFromMultiSumm=&startChunk=1&endChunk=1>. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁸⁸ GROMOVA E.; IVANC T. Regulatory Sandboxes (Experimental Legal Regimes) for Digital Innovations in BRICS. **BRICS Law Journal**, v. 7, n. 2, p. 10-36, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21684/2412-2343-2020-7-2-10-36> Acesso em: 01 nov. 2021.

Portanto, o regime legal das *sandbox* regulatórias brasileiras vai além do desenvolvimento de *fintechs*, como ocorreu em sua origem britânica. O objetivo no Brasil é testar criptomoedas, inteligência artificial, *blockchain* e outras tecnologias digitais. O objetivo do Governo Brasileiro é incentivar a implementação de *blockchain* e outras tecnologias avançadas em todas as unidades da administração pública com a finalidade de se aprimorar o serviço público. A CVM foi pioneira em criar regras a respeito da *sandbox*, também chamada de ambiente regulatório experimental, para negócios inovadores na área de mercado de valores imobiliários.²⁸⁹

A Instrução CVM nº 626/2020 estabelece que o objetivo da *sandbox* é o fomento à inovação no mercado de capitais, com redução dos custos e do tempo de maturação dos projetos; atrair maior quantidade de capital de risco para as empresas, por meio de sua maior visibilidade no mercado; maior segurança jurídica haja vista um maior contato da Agência Reguladora com os participantes; aumentar a competição com o aumento de agentes regulados no mercado; satisfazer uma demanda reprimida, que os agentes tradicionais não conseguem suprir e o aprimoramento da regulação com o surgimento de modelos de negócio inovadores.²⁹⁰

Ainda, segundo a Instrução CVM nº 626, considera-se negócio inovador a atividade que, cumulativamente ou não, se utiliza de tecnologia inovadora, ou faça uso inovador de tecnologia, ou desenvolva produto ou serviço que ainda não seja oferecido, ou com arranjo diverso do que esteja sendo ofertado no mercado de valores mobiliários. Estabelece, ainda, que para fazer jus ao regime especial o modelo de negócio inovador deve ter o potencial de promover ganhos de eficiência, redução de custos ou ampliação do acesso do público em geral a produtos e serviços do mercado de valores mobiliários.²⁹¹

²⁸⁹ MARRARA, Thiago; GASIOLA, Gustavo Gil. Regulação de novas tecnologias e novas tecnologias na regulação. **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 1, n. 2, p. 117-144, maio/ago. 2020. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/514/271>. Acesso em: 30 out. 2021. Veja também: GROMOVA E.; IVANC T. Regulatory Sandboxes (Experimental Legal Regimes) for Digital Innovations in BRICS. **BRICS Law Journal**, v. 7, n. 2, p. 10-36, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21684/2412-2343-2020-7-2-10-36> Acesso em: 01 nov. 2021.

²⁹⁰ BRASIL. Comissão de Valores Mobiliários. **Instrução Normativa CVM nº 626 de 15 de maio de 2020**. Dispõe sobre as regras para constituição e funcionamento de ambiente regulatório experimental (*sandbox* regulatório). Disponível em: <http://conteudo.cvm.gov.br/legislacao/instrucoes/inst626.html>. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁹¹ “Artigo 1º. A presente Instrução regula a constituição e o funcionamento de ambiente regulatório experimental (“**sandbox** regulatório”), em que as pessoas jurídicas participantes poderão receber autorizações temporárias para testar modelos de negócio inovadores em atividades no mercado de valores mobiliários regulamentadas pela Comissão de Valores Mobiliários. Parágrafo único. A implementação do **sandbox** regulatório tem por finalidade servir como instrumento para proporcionar:

Assim, percebe-se que as *sandbox* regulatórias são um excelente instrumento para auxiliar na regulação de tecnologias inovadoras, reduzindo-se de sobremaneira os riscos, tanto para o agente privado, quanto para o consumidor.

4.3 Tecnologia *Blockchain*, *Privacy by Design* e LGPD para minimização de riscos à privacidade dos usuários

Talvez, um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade atual seja a questão da privacidade no ciberespaço. Para tentar solucionar parte desse problema, principalmente no que se refere em como podem ser coletados e utilizados os dados pessoais dos usuários, surgiram regulamentações em diversos países. Essas regulamentações vieram como uma resposta ao estado de vigilância imposto a todos pelas Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) modernas.

Na Europa sobreveio, em 2016, o RGPD, Regulamento nº 2016/679, que é aplicável a todos os indivíduos na UE e no Espaço Econômico Europeu.²⁹² O RGPD

I – fomento à inovação no mercado de capitais; II – orientação aos participantes sobre questões regulatórias durante o desenvolvimento das atividades para aumentar a segurança jurídica; III – diminuição de custos e do tempo de maturação para desenvolver produtos, serviços e modelos de negócio inovadores; IV – aumento da visibilidade e tração de modelos de negócio inovadores, com possíveis impactos positivos em sua atratividade para o capital de risco; V – aumento da competição entre prestadores de serviços e fornecedores de produtos financeiros no mercado de valores mobiliários; VI – inclusão financeira decorrente do lançamento de produtos e serviços financeiros menos custosos e mais acessíveis; e VII – aprimoramento do arcabouço regulatório aplicável às atividades regulamentadas. Artigo 2º. Para os efeitos desta Instrução, entende-se por: (...) IV – modelo de negócio inovador: atividade que, cumulativamente ou não: a) utilize tecnologia inovadora ou faça uso inovador de tecnologia; ou b) desenvolva produto ou serviço que ainda não seja oferecido ou com arranjo diverso do que esteja sendo ofertado no mercado de valores mobiliários. § 1º O modelo de negócio inovador de que trata o inciso IV deve ter o potencial de promover ganhos de eficiência, redução de custos ou ampliação do acesso do público em geral a produtos e serviços do mercado de valores mobiliários. (...)” BRASIL. Comissão de Valores Mobiliários. **Instrução Normativa CVM nº 626 de 15 de maio de 2020**. Dispõe sobre as regras para constituição e funcionamento de ambiente regulatório experimental (*sandbox* regulatório). Disponível em:

<http://conteudo.cvm.gov.br/legislacao/instrucoes/inst626.html>. Acesso em: 30 out. 2021.

²⁹² RGPD (EU) 2016/679. Artigo 3º. Âmbito de aplicação territorial. 1. O presente regulamento aplica-se ao tratamento de dados pessoais efetuado no contexto das atividades de um estabelecimento de um responsável pelo tratamento ou de um subcontratante situado no território da União, independentemente de o tratamento ocorrer dentro ou fora da União. 2. O presente regulamento aplica-se ao tratamento de dados pessoais de titulares residentes no território da União, efetuado por um responsável pelo tratamento ou subcontratante não estabelecido na União, quando as atividades de tratamento estejam relacionadas com: a) a oferta de bens ou serviços a esses titulares de dados na união, independentemente da exigência de os titulares dos dados procederem a um pagamento; b) O controle do seu comportamento, desde que esse comportamento tenha lugar na União. 3. O presente regulamento aplica-se ao tratamento de dados pessoais por um responsável pelo tratamento estabelecido não na União, mas num lugar em que se aplique o direito de um Estado-Membro por força do direito internacional público. UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016. **Jornal Oficial da União Europeia**.

entrou em vigor em maio de 2018 e possui dois grandes objetivos: facilitar a livre circulação de dados pessoais entre os vários Estados-Membros da UE e estabelecer um marco de proteção dos direitos fundamentais, com base no direito à proteção de dados estabelecido no artigo 8º da Carta dos Direitos Fundamentais da UE.²⁹³

Não obstante se trate de uma legislação europeia, sua maturidade conceitual a transforma em um regulamento-modelo que servirá de exemplo, como já vem servindo, para outras nações e comunidades de nações. Sem dúvida, seus efeitos serão sentidos em todo o mundo, pois induzirá condutas por parte de agentes na esfera pública e privada. Esta indução de comportamentos global se dá principalmente em razão da importância econômica que a UE possui internacionalmente, principalmente por possuir importantes prestadores de serviços on-line, o que afetará diretamente diversos outros países fora da Europa, como, por exemplo, o próprio Brasil.²⁹⁴

Em solo brasileiro, foi promulgada, em 2018, a LGPD, Lei nº 13.709/2018, tendo entrado em vigor na sua totalidade apenas em agosto de 2021, quando as sanções ao seu descumprimento passaram a valer.²⁹⁵ A LGPD guarda, também, como um de

Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679>. Acesso em: 06 nov. 2021.

²⁹³ Carta dos Direitos Fundamentais da UE: “Artigo 8º. Proteção de dados pessoais. 1. Todas as pessoas têm direito à proteção dos dados de caráter pessoal que lhes digam respeito. 2. Esses dados devem ser objeto de um tratamento leal, para fins específicos e com o consentimento da pessoa interessada ou com outro fundamento legítimo previsto por lei. Todas as pessoas têm o direito de aceder aos dados coligidos que lhes digam respeito e de obter a respectiva retificação. 3. O cumprimento destas regras fica sujeito a fiscalização por parte de uma autoridade independente”. UNIÃO EUROPEIA. **Carta dos direitos fundamentais da União Europeia**. Bruxelas: Parlamento Europeu, 2000. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/charter/pdf/text_pt.pdf. Acesso em: 09 nov. 2021. Veja também: RGPD: “Artigo 1º. **Objeto e objetivos**. 1. O presente regulamento estabelece as regras relativas à proteção das pessoas singulares no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados. 2. O presente regulamento defende os direitos e as liberdades fundamentais das pessoas singulares, nomeadamente o seu direito à proteção dos dados pessoais. 3. A livre circulação de dados pessoais no interior da União não é restringida nem proibida por motivos relacionados com a proteção das pessoas singulares no que respeita ao tratamento de dados pessoais”. UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016. **Jornal Oficial da União Europeia**.

Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679>. Acesso em: 06 nov. 2021.

²⁹⁴ POLIDO, Fabrício B. Pasquot et al. GDPR e suas repercussões no direito brasileiro: primeiras impressões de análise comparativa. **Instituto de Referência em Internet e Sociedade**, Belo Horizonte, v. 208, 2018. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/328785001_GDPR_e_suas_repercussoes_no_direito_brasileiro_primeiras_impressoes_e_analise_comparativa. Acesso em: 23 nov. 2021.

²⁹⁵ Apesar de promulgada em 2018, a LGPD passou a ter vigência apenas em setembro de 2020, após um conturbado processo de alterações legislativas. Inicialmente seu texto deveria ter entrado em vigor 18 meses após sua publicação, ou seja, em 14/02/2020. Entretanto, após forte pressão de empresários, a *vacatio* foi aumentada em mais seis meses, totalizando 2 anos de *vacatio legis*. Nesse cenário de

seus objetivos principais, maior autonomia do cidadão em razão de seus dados pessoais, garantindo maior controle sobre o uso de dados privados, buscando preservar o respeito à privacidade; a autodeterminação informática, a liberdade de expressão, de informação de comunicação e de opinião; a inviolabilidade da intimidade, da honra e da imagem; o os direitos humanos, o livre desenvolvimento da personalidade, a dignidade e o exercício da cidadania.²⁹⁶

Segundo estabelece o Art. 4º, § 1º, da LGPD o tratamento de dados deverá prever medidas proporcionais e estritamente necessárias ao atendimento do interesse público, observados o devido processo legal, os princípios gerais de proteção e os direitos do titular do dado. Destaca ainda no Art. 7º, § 3º que nos casos em que esse tratamento for de acesso público, deverão ser consideradas a finalidade, a boa-fé e o interesse público que justificaram sua disponibilização.

Além disso, a lei ressalta que o tratamento de dados pessoais pelas pessoas jurídicas de direito público, deverá ser realizado segundo uma finalidade pública, com o objetivo de executar as competências legais ou cumprir as atribuições legais do serviço público (Art. 23, *caput*), desde que sejam informadas, de forma clara, as hipóteses, os procedimentos e as práticas utilizadas para a execução dessas atividades, sob a supervisão de um encarregado indicado quando realizadas as operações de tratamento de dados pessoais (art. 23, incisos I e III).

Como destacado nos capítulos anteriores, uma das principais características e qualidades que dão credibilidade às redes *blockchain* são, justamente, a transparência e a impossibilidade de adulteração e de exclusão de dados. Entretanto, quando se está a tratar de dados pessoais sensíveis, a transparência e a imutabilidade dos dados podem trazer contradições de cunho constitucional e legal.

grande pressão sobre o parlamento, foi publicada em junho de 2020 a Lei nº 14.010, que estabeleceu que mesmo que a Lei passasse a vigorar a partir de agosto de 2020, suas sanções apenas surtiriam efeito em agosto de 2021. Por essa razão que se diz que a LGPD brasileira apenas passou a surtir seus efeitos a partir de agosto de 2021, três anos pós a sua vigência, talvez uma das mais longas *vacatio legis* na história legislativa brasileira.

²⁹⁶ LGPD. Artigo 2º. A disciplina da proteção de dados pessoais tem como fundamentos: I - o respeito à privacidade; II - a autodeterminação informativa; III - a liberdade de expressão, de informação, de comunicação e de opinião; IV - a inviolabilidade da intimidade, da honra e da imagem; V - o desenvolvimento econômico e tecnológico e a inovação; VI - a livre iniciativa, a livre concorrência e a defesa do consumidor; e VII - os direitos humanos, o livre desenvolvimento da personalidade, a dignidade e o exercício da cidadania pelas pessoas naturais. (BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm Acesso em: 02 dez. 2021).

A pesquisa aqui apresentada destacou que a *blockchain* é uma ferramenta criada para revolucionar a forma com que são registrados e armazenados dados, pois elimina o terceiro confiável, concedendo poder para que os nós validem as próprias transações e realizem a governança de seus dados, o que redundaria em uma forma muito mais democrática de gerenciar informações pessoais, dados e transações. Verificou-se, também, que a *blockchain* possui várias vantagens em relação aos sistemas tradicionais centralizados, vez que elimina os pontos sensíveis que traziam risco à segurança dos dados.

Portanto, à primeira vista, considerando principalmente os princípios gerais orientadores, tanto da tecnologia *blockchain* quanto das leis de proteção de dados, não se verifica contradições de fundo, pois foram desenvolvidas e criadas com a finalidade de trazer maior controle e transparência aos cidadãos, no que diz respeito aos seus dados pessoais, evitando o mal uso por grandes corporações que, nos últimos anos, têm lucrado milhões de reais com a coleta sub-reptícia e uso comercial de informações pessoais de seus usuários.

Tanto a *blockchain* quanto os diplomas legais, em discussão, pretendem proporcionar maior segurança e respeito aos dados pessoais. As contradições surgidas entre a lei e a tecnologia se resumem a questão da perpetuidade dos dados na rede, contrastando com o direito de esquecimento; a imutabilidade dos dados, frente ao direito de retificação e o fato da *blockchain* trabalhar com usuários anônimos, o que se opõe aos regulamentos, já que exigem a identificação do usuário.²⁹⁷

Quando do surgimento da RGPD na Europa, a primeira e mais contundente reação de autoridades e de pessoas relacionadas à área de segurança de dados foi no sentido da total falta de compatibilidade com a novel legislação. Entretanto, importantes vozes acadêmicas balizadas tecnicamente destacam que essa é uma posição superficial feita normalmente por pessoas que não conhecem como efetivamente a *blockchain* funciona e sem compreender os seus principais conceitos. Para esses pesquisadores, a *blockchain* pode se alinhar à RGPD, melhorando o aspecto fundamental da privacidade e segurança de dados, se comparada à abordagem centralizada tradicional da internet. Embora não sejam tão fáceis de

²⁹⁷ PUCCINELLI, O. R. **Blockchains y otras formas de contabilidad distribuída (DLT) y su impacto en la protección de los datos personales**. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3akRFjl>. Acesso em: 10 nov. 2021.

implementar, há técnicas exclusivas de *blockchain* que podem ser implementadas para garantir a conformidade com as leis de proteção de dados.²⁹⁸

Nesse sentido, a tecnologia *blockchain* pode desempenhar um papel importante para garantir que as transações realizadas pelas diferentes organizações sejam facilmente auditáveis e resistentes a fraudes, o que também se mostraria útil para o cumprimento das leis de proteção de dados.

As soluções de *blockchain* podem oferecer vantagem sob o ponto de vista da governança de informações. Sua característica de desintermediação pode ser muito útil em situações de baixa confiança. Gerar e validar transações automaticamente, sem a intervenção humana, pode otimizar o trabalho e aumentar a conformidade. As redes *blockchain* oferecem transparência em processos, aumentando a transparência organizacional, além do fato de serem resistentes à adulteração, o que aumenta a segurança dos registros e a auditabilidade.²⁹⁹

Analisando as legislações de proteção de dados, pode-se verificar que elas se baseiam no modelo de redes centralizadas, ou seja, no modelo Cliente-Servidor, não havendo sequer menção às redes descentralizadas em seus artigos. Isso tornará difícil o cumprimento da lei, pois haverá necessidade de adaptação dos institutos e conceitos estabelecidos àqueles inerentes às redes descentralizadas.³⁰⁰

Observa-se, aqui, um grave problema de *timing* jurídico, pois, como já visto nesse trabalho, as redes descentralizadas já existem desde 2008 e vêm ganhando espaço desde então. Na Europa, por exemplo, a RGPD foi proposta primeiramente em 2012, quando a internet ainda estava focada apenas nas redes centralizadas. Portanto, toda a lei foi proposta baseada nesse modelo. Com a introdução das redes P2P descentralizadas por volta de 2017 e com a disseminação das DLTs e *blockchain*, a RGPD ficou ultrapassada. A mesma situação ocorreu no Brasil, quando da discussão da LGPD no Congresso, havia estudos e aplicações muito incipientes que não motivaram os congressistas a criar uma legislação específica para as redes

²⁹⁸ LIMA, Claudio. Blockchain GDPR privacy by design. **IEEE Blockchain Group**, 2018. Disponível em: <https://blockchain.ieee.org/images/files/pdf/blockchain-gdpr-privacy-by-design.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

²⁹⁹ HOFMAN, Darra et al. "The margin between the edge of the world and infinite possibility": Blockchain, GDPR and information governance. **Records Management Journal**, 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RMJ-12-2018-0045/full/html>. Acesso em: 22 nov. 2021.

³⁰⁰ MEWES, Luke Henrique. **Blockchain e exclusão de dados: a compatibilidade entre a tecnologia e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD)**. 2021. 108 f. Monografia (Graduação em Direito) – Centro Universitário Curitiba, Curitiba, 2021.

descentralizadas. Assim, no tocante a esta questão, a LGPD brasileira também já nasceu velha.³⁰¹

4.3.1 *Privacy by design* como forma de minimização de riscos à privacidade e de adequação de novos projetos de redes descentralizadas à LGPD

Antes de se adentrar especificamente no estudo dos principais aspectos legais que envolvem a LGPD e as redes blockchains/DLTs, se faz importante destacar que atualmente, por meio da técnica *Privacy by Design* (PbD), há formas de, desde a concepção do projeto de criação de uma rede descentralizada, trabalhar com a ideia de proteção dos dados sensíveis dos usuários.

Como se vê, as *blockchains* possuem características técnicas que impactam seriamente nas normas de proteção de dados. Há, portanto, por parte do controlador de dados e do desenvolvedor, a obrigação de, desde a concepção do projeto, se preocupar em aplicar técnicas de minimização de riscos. O termo *Privacy by Design* (PbD) representa um conjunto de técnicas que tem como objetivo central a privacidade e a proteção de dados pessoais em todos os projetos desenvolvidos por uma corporação, desde a sua concepção. O PbD destaca uma proteção proativa dos dados pessoais que deve ser considerada durante toda a vida útil do produto ou do serviço.³⁰² É considerada uma estratégia de privacidade que provoca as organizações a projetar a privacidade em novas iniciativas, ao invés de tentar resolver problemas “pós-fato”.³⁰³

Embora o conceito PbD tenha ganhado relevância mundial apenas depois de 2010, ele foi apresentado pela primeira vez, em 1995, em um relatório conjunto produzido pelo *Registratiekamer*, autoridade holandesa de proteção de dados e pelo *Information and Privacy Commissioner*, autoridade de proteção de Dados da província canadense de Ontário. Destacou-se no relatório que, embora os requisitos de

³⁰¹ LIMA, Claudio. Blockchain GDPR privacy by design. **IEEE Blockchain Group**, 2018. Disponível em: <https://blockchain.ieee.org/images/files/pdf/blockchain-gdpr-privacy-by-design.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

³⁰² BU, Fei et al. “Privacy by Design” implementation: Information system engineers’ perspective. **International Journal of Information Management**, v. 53, p. 102124, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268401219308606>. Acesso em: 20 nov. 2021.

³⁰³ LEVIN, Avner. Privacy by Design by Regulation: The Case Study of Ontario. **Can. J. Comp. & Contemp. L.**, v. 4, p. 115, 2018. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/cajcc14&div=7&id=&page=> Acesso em: 22 nov. 2021.

proteção da segurança da informação sejam conhecidos e praticados pelos agentes públicos e privados, técnicas de proteção da privacidade da informação não eram.

Neste contexto, foi então criado o conceito de *Privacy-Enhancing Technology*, que consiste em uma variedade de tecnologias que preservam a privacidade ao minimizar ou eliminar a coleta de dados pessoais. Um dos principais pilares que sustentam o conceito é se perguntar desde o início do desenvolvimento do sistema informático ou do serviço, se informações pessoais identificáveis seriam realmente importantes para o seu funcionamento.³⁰⁴

Com o passar do tempo, o conceito foi sendo aprimorado, sendo considerado um conjunto de medidas de TICs que protegem a privacidade informacional ao eliminar ou minimizar dados pessoais, sem perder a funcionalidade do sistema de informação.³⁰⁵

Não obstante a importância do desenvolvimento de medidas tecnológicas para a proteção de dados pessoais, elas se mostravam insuficientes, pois eram altamente dependentes de iniciativas das empresas de tecnologias. Neste contexto de descontentamento, com a intenção de promover a defesa da privacidade nas redes, Ann Cavoukian, então Comissária do *Information and Privacy Commissioner* da província canadense de Ontário (período de 1997 a 2014), passou a desenvolver o conceito de PbD como sendo um novo paradigma de proteção à privacidade que, de forma proativa e preventiva, poderia fornecer proteção mais ampla das informações privadas.³⁰⁶ Destacou que mais do que simplesmente estabelecer requisitos técnicos para o desenvolvimento de TICs, a proteção da privacidade está intimamente ligada ao processo de desenvolvimento e posterior gestão e não apenas ao produto desenvolvido e acabado em si.³⁰⁷

³⁰⁴ INFORMATION AND PRIVACY COMMISSIONER; REGISTRATIEKAMER. **Privacy-Enhancing Technologies: the path to anonymity.** Toronto, The Hague: Information and Privacy Commissioner; Registratiekamer, 1995. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/243777645_PrivacyEnhancing_Technologies_The_Path_to_Anonymity Acesso em: 23 nov. 2021.

³⁰⁵ VAN BLARKOM, G. W.; BORKING, J. J.; OLK, J.G. E. Handbook of privacy and privacy-enhancing technologies. **Privacy Incorporated Software Agent (PISA) Consortium, The Hague**, v. 198, 2003. Disponível em: https://andrewpatrick.ca/pisa/handbook/Handbook_Privacy_and_PET_final.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

³⁰⁶ CAVOUKIAN, Ann; CHIBBA, Michelle. Start with privacy by design in all big data applications. Guide to big data applications. **Springer Link**, Cham, 2018, p. 29-48. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-53817-4_2. Acesso em: 22 nov. 2021.

³⁰⁷ CAVOUKIAN, Ann. **Operationalizing Privacy by Design: A Guide to Implementing.** Ontário, Canadá, 2012. Disponível em: <https://www.schwaab.ch/wp-content/uploads/2013/09/operationalizing-pbd-guide.pdf> Acesso em: 23 nov. 2021.

Graças aos esforços de Cavoukian, o método de abordagem da privacidade baseado na PbD foi objeto da *Jerusalem Declaration of Privacy Commissioners*, de 2010, onde buscou-se incentivar a adoção da técnica como um conceito holístico que pode ser aplicado às operações em todas as organizações. A resolução reconheceu a PbD como um componente essencial da proteção da privacidade, recomendando a adoção dos princípios da PbD como modo padrão de operação das organizações.³⁰⁸

De igual forma, a RGPD também destacou, no artigo 25, a necessidade de adoção de técnicas de PbD em projetos que incluam tratamento de dados pessoais. Enfatizou-se que o responsável pelo tratamento de dados deve aplicar medidas técnicas adequadas no tratamento dos dados pessoais que minimizem os riscos de exposição indevida. O responsável pelo tratamento deve aplicar medidas técnicas que garantam que só sejam tratados os dados pessoais que forem necessários para cada finalidade.³⁰⁹

A PbD vem se juntar aos marcos regulatórios e ao *compliance*, como uma forma de se garantir que a privacidade se torne um ideal a ser seguido como padrão de operação de uma organização. Os princípios da PbD se estendem, tanto aos sistemas de TI quanto às práticas empresariais responsáveis e à infraestrutura física de *design* em rede.³¹⁰

³⁰⁸ GLOBAL PRIVACY ASSEMBLY. **32nd International Conference of Data Protection and Privacy Commissioners**. Resolution on Privacy by Design. Jerusalem, Israel, 2010. Disponível em: <http://globalprivacyassembly.org/wp-content/uploads/2015/02/32-Conference-Israel-resolution-on-Privacy-by-Design.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

³⁰⁹ Artigo 25. **Proteção de dados desde a concepção e por defeito**. 1. Tendo em conta as técnicas mais avançadas, os custos da sua aplicação, e a natureza, o âmbito, o contexto e as finalidades do tratamento dos dados, bem como os riscos decorrentes do tratamento para os direitos e liberdades das pessoas singulares, cuja probabilidade e gravidade podem ser variáveis, o responsável pelo tratamento aplica, tanto no momento de definição dos meios de tratamento como no momento do próprio tratamento, as medidas técnicas e organizativas adequadas, como a pseudonimização, destinadas a aplicar com eficácia os princípios da proteção de dados, tais como a minimização, e a incluir as garantias necessárias no tratamento, de uma forma que este cumpra os requisitos do presente regulamento e proteja os direitos dos titulares dos dados. 2. O responsável pelo tratamento aplica medidas técnicas e organizativas para assegurar que, por defeito, só sejam tratados os dados pessoais que forem necessários para cada finalidade específica do tratamento. Essa obrigação aplica-se à quantidade de dados pessoais recolhidos, à extensão do seu tratamento, ao seu prazo de conservação e à sua acessibilidade. Em especial, essas medidas asseguram que, por defeito, os dados pessoais não sejam disponibilizados sem intervenção humana a um número indeterminado de pessoas singulares. 3. Pode ser utilizado como elemento para demonstrar o cumprimento das obrigações estabelecidas nos n.ºs 1 e 2 do presente artigo, um procedimento de certificação aprovado nos termos do artigo 42. UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016. **Jornal Oficial da União Europeia**.

Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679>. Acesso em: 06 nov. 2021.

³¹⁰ CAVOUKIAN, Ann. **Privacy by design and the emerging personal data ecosystem**. Ontário, Canadá, 2012. Disponível em: <https://www.ipc.on.ca/wp-content/uploads/Resources/pbd-pde.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.

Em 2009, Cavoukian desenvolveu sete princípios fundamentais que devem ser seguidos para a criação de um produto ou serviço que vise, desde logo, preservar a privacidade dos dados de seus usuários. Tais princípios de gestão da informação podem ser aplicados a tecnologias específicas, operações de negócios, arquiteturas físicas, infraestrutura de rede e, até mesmo, a ecossistemas de informação e modelos de governança inteiros.³¹¹

Os princípios fundamentais da PbD são: 1) Proativo não reativo; preventivo não corretivo: a PbD deve antecipar e prevenir eventos invasivos de privacidade. O método não oferece soluções para resolver infrações à privacidade já ocorridas, mas apenas busca evitar que elas ocorram. 2) Privacidade como padrão, as técnicas de PbD buscam garantir que os dados pessoais sejam automaticamente protegidos implementando-se as seguintes ações: a) Especificação de finalidade; b) Limitação de coleta de dados ao estritamente necessário para o propósito específico; c) Minimização de dados; d) Uso, retenção e limite de divulgação devem-se limitar ao necessário para o cumprimento dos propósitos específicos da coleta. 3) Privacidade incorporada ao design. 4) Privacidade incorporada ao sistema de forma a garantir sua Funcionalidade completa. 5) Segurança ponta a ponta. 6) Visibilidade e transparência. 7) Respeito pela privacidade do usuário, levando-se em consideração o seu consentimento necessário; a exatidão dos dados tratados; o acesso dos usuários aos seus próprios dados e a adoção de mecanismos de *compliance*.³¹²

A formulação da técnica de PbD representou uma significativa mudança na abordagem tradicional da proteção de dados pessoais que sempre se baseou na regulação de forma a estabelecer requisitos mínimos para a prática de gestão da informação e fornecendo recursos, por meio de instrumentos legais e regulatórios para as violações de privacidade. Esta abordagem regulatória tradicional tinha seus olhares

³¹¹ CAVOUKIAN, Ann et al. Privacy by design: The 7 foundational principles. **Information and privacy commissioner of Ontario**, Canadá, v. 5, p. 12, 2009. Disponível em: <https://oarc.duke.edu/sites/default/files/documents/Privacy%20by%20Design%20%207%20Foundational%20Principles.pdf> Acesso em: 20 nov. 2021.

³¹² CAVOUKIAN, Ann et al. Privacy by design: The 7 foundational principles. **Information and privacy commissioner of Ontario**, Canadá, v. 5, p. 12, 2009. Disponível em: <https://oarc.duke.edu/sites/default/files/documents/Privacy%20by%20Design%20%207%20Foundational%20Principles.pdf> Acesso em: 20 nov. 2021. Veja também: CAVOUKIAN, Ann. **Privacy by design and the emerging personal data ecosystem**. Ontário, Canadá, 2012. Disponível em: <https://www.ipc.on.ca/wp-content/uploads/Resources/pbd-pde.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021. Nesse sentido ainda: BU, Fei et al. "Privacy by Design" implementation: Information system engineers' perspective. **International Journal of Information Management**, v. 53, p. 102124, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268401219308606>. Acesso em: 20 nov. 2021.

fixos apenas para o pós-fato, ou seja, deixava de fixar seus esforços preventivamente para evitar os danos.³¹³

O desenvolvimento da abordagem PbD, diferentemente, buscou incentivar e desenvolver uma cultura institucional de responsabilidade dos agentes envolvidos, estabelecendo-se uma política interna clara e definida, capaz de esclarecer o papel de cada agente na promoção da proteção dos dados pessoais de indivíduos coletados e tratados pela instituição.³¹⁴

4.3.2 A incidência da LGPD nas redes descentralizadas

Uma das primeiras questões que podem surgir, quando realizadas operações por um sistema de cadeia de dados é como ocorre a incidência da LGPD, melhor dizendo, como deve ser o tratamento de dados pessoais na *blockchain*. A LGPD em seu artigo 5º, inciso X, conceitua o tratamento de dados como sendo “toda operação realizada com dados pessoais, como as que se referem à coleta, produção, recepção, classificação, utilização, acesso, reprodução transmissão, distribuição, processamento, arquivamento, armazenamento, eliminação, avaliação ou controle da informação, modificação, comunicação, transferência, difusão ou extração”.³¹⁵

Como estudado anteriormente, a *blockchain* é um livro-razão compartilhado e sincronizado que permite armazenar dados relativos a uma transação eletrônica de forma segura e permanente, sendo mantido por um algoritmo de consenso e assegurado por criptografia assimétrica que garante a segurança e a permanência dos dados. Assim, considerando que a *blockchain* permite coletar, processar, produzir, acessar, transmitir, distribuir e arquivar dados pessoais, parece que não há dúvida sobre a incidência da LGPD sobre essas redes distribuídas.

³¹³ LEVIN, Avner. Privacy by Design by Regulation: The Case Study of Ontario. **Can. J. Comp. & Contemp. L.**, v. 4, p. 115, 2018. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/cajcl4&div=7&id=&page=> Acesso em: 22 nov. 2021.

³¹⁴ MORASSUTTI, Bruno Schimitt. **Regulação de tecnologias e arquitetura de sistemas: um estudo sobre o privacy by design e a transparência aplicada a algoritmos computacionais.** 2019. 182 f. p. 77. Dissertação (Mestrado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019, p. 77. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/8794>. Acesso em: 23 nov. 2021.

³¹⁵ BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm Acesso em: 02 dez. 2021.

Deve-se, ainda, recordar, como já destacado, que a *Blockchain* ou DLT, na verdade, são uma classe de tecnologias, onde se encontram diferentes estruturas técnicas e de governança. Há uma diversidade de espécies de DLTs que podem se diferenciar em razão da gestão do *software*, da visibilidade, identificação das transações no *ledger* e em razão ao direito de adicionar novos dados à rede. Isso implica dizer que a compatibilidade das redes *blockchain* com a LGPD deverá ser realizada caso a caso, pois deverá ser levado em consideração os fatores técnicos e contextuais.³¹⁶

4.3.3 Competência territorial da LGPD e pontos de atrito com as redes blockchain/DTs

Segundo o que estabelece o artigo 3º da LGPD, a sua aplicação se dará sobre o tratamento de dados realizado no Brasil, ou cujos dados tenham sido coletados em território nacional, ou que tenha relação com serviços e produtos oferecidos no país, ou, ainda, realizado em país estrangeiro que, dentro das hipóteses listadas, não disponha de legislação com grau equivalente de proteção.³¹⁷

Quando se tem um sistema tradicional centralizado, a verificação da competência territorial é relativamente simples, pois basta identificar, na maioria das vezes, o país onde estão instalados os servidores ou os computadores, pelos quais os dados foram processados ou tratados ou, ainda, onde foram oferecidos os produtos ou serviços digitais. Entretanto, em se tratando de redes descentralizadas, essa análise é muito mais complexa, vez que não há um servidor central, mas as informações são armazenadas de forma distribuída em toda a rede. Vale lembrar que, em redes descentralizadas, cada nó possui uma cópia idêntica de toda rede e como os nós podem se espalhar por todo o globo, fica difícil fazer essa análise. Portanto, a análise da territorialidade com base no local do servidor não é válida para os casos de redes distribuída.

³¹⁶ FINCK, Michèle. **Blockchain and the General Data Protection Regulation**: Can distributed ledgers be squared with European data protection law? Bruxelas: Parlamento Europeu, 2019. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2019\)634445](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2019)634445) Acesso em: 09 nov. 2021.

³¹⁷ BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm Acesso em: 02 dez. 2021.

Em estudo encomendado pelo Parlamento Europeu e desenvolvido por Michèle Finck, entendeu-se que a abrangência da RGPD se dá quando a pessoa física ou jurídica responsável pelo caso de uso específico é estabelecida na UE, ou quando uma pessoa natural ou jurídica oferece bens ou serviços a titulares de dados da UE, ou, ainda, quando operadores de uma *blockchain* disponibilizem sua infraestrutura a indivíduos na UE. A RGPD ainda se aplica quando alguém situado fora da UE usar uma *blockchain* para tratar dados pessoais relativos a indivíduos situados na UE.³¹⁸

Tanto a lei europeia quanto a brasileira definem os perfis que, de uma forma ou outra, impactam no tratamento de dados pessoais. Segundo o artigo 5º da LGPD, o Titular do dado pessoal é a pessoa natural a quem se refere os dados e que, portanto, é a detentora do direito fundamental de privacidade e transparência no tratamento de dados. O Controlador, que é a pessoa natural ou jurídica, de Direito público ou privado responsável pela tomada de decisões sobre o tratamento dos dados. O Operador, que é a pessoa natural ou jurídica, de Direito público ou privado, que realiza a operação de tratamento em nome do controlador. O Encarregado, que é a pessoa indicada pelo controlador e pelo operador para atuar como canal de comunicação entre o controlador, os titulares dos dados e a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD). Os Agentes de Tratamento, que são o controlador e o operador. E, em ambos os regulamentos, há também a figura das Autoridades de Proteção de Dados, que é um órgão governamental, que dentre outras atribuições, possui o dever de fiscalizar e orientar tecnicamente sobre o tratamento de dados pessoais.³¹⁹

³¹⁸ FINCK, Michèle. **Blockchain and the General Data Protection Regulation**: Can distributed ledgers be squared with European data protection law? Bruxelas: Parlamento Europeu, 2019. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2019\)634445](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2019)634445) Acesso em: 09 nov. 2021.

³¹⁹ LGPD. “Artigo 5º. Para os fins desta Lei, considera-se: (...) V - titular: pessoa natural a quem se referem os dados pessoais que são objeto de tratamento; VI - controlador: pessoa natural ou jurídica, de direito público ou privado, a quem competem as decisões referentes ao tratamento de dados pessoais; VII - operador: pessoa natural ou jurídica, de direito público ou privado, que realiza o tratamento de dados pessoais em nome do controlador; VIII - encarregado: pessoa indicada pelo controlador e operador para atuar como canal de comunicação entre o controlador, os titulares dos dados e a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD); IX - agentes de tratamento: o controlador e o operador; XIX - autoridade nacional: órgão da administração pública responsável por zelar, implementar e fiscalizar o cumprimento desta Lei em todo o território nacional”. (BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm Acesso em: 02 dez. 2021). Sobre o assunto veja também: MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021.

Conforme destacado no decorrer desse texto, em uma *blockchain* todos os nós possuem uma cópia completa do livro-razão, e isso reforça seu conceito distribuído. Em redes *blockchains* privadas, a exemplo da *Hyperledger Fabric*, novos nós apenas entram mediante permissão e o acesso é controlado. Assim, *blockchains* privadas são mais adequadas para identificação dos nós, o que torna possível eventual responsabilização pelo descumprimento da LGPD. O mesmo não ocorre em *blockchains* públicas como a *Bitcoin* e a *Etherum*, haja vista não haver controle de entrada, tornando a identificação do usuário bastante complexa e talvez inviável.³²⁰

Em uma *blockchain* é possível identificar três tipos de nós: nós clientes, que têm o direito de ler e manter uma cópia da cadeia; nós participantes, que têm o direito de fazer uma transação para a qual solicitam validação; e nós mineradores, que validam uma transação e criam blocos. Os nós mineradores estão apenas validando informações enviadas pelos participantes, de forma que não se envolvem no objeto dessas transações e a princípio não podem ser classificados como controladores de dados. Seriam, portanto, controladores apenas aqueles que introduzem dados pessoais na *blockchain*, pessoas físicas ou jurídicas cujo tratamento relaciona-se com sua atividade profissional ou comercial.³²¹

Também é importante destacar que uma pessoa física, que insere dados pessoais em uma *blockchain* e que não se relaciona com uma atividade comercial ou profissional, não é considerada uma controladora de dados, nos termos do artigo 4º, inciso I, da LGPD, o qual estabelece que essa lei não se aplica ao tratamento de dados pessoais realizado por pessoa natural para fins particulares e não econômicos.³²²

O artigo 12 da LGPD estabelece que dados anonimizados não são considerados dados pessoais, de forma que a Lei não se aplica a eles. Entretanto, há uma preocupação do legislador com a possível utilização de técnica que permita a

³²⁰ PUCCINELLI, O. R. **Blockchains y otras formas de contabilidad distribuída (DLT) y su impacto en la protección de los datos personales**. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3akRFjl>. Acesso em: 10 nov. 2021. Veja também: MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021.

³²¹ CNIL. Commission Nationale de Línformatique et des Libertés. **Solutions for a responsible use of the blockchain in the contexto of personal data**. 2018. Disponível em: https://www.cnil.fr/sites/default/files/atoms/files/blockchain_en.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

³²² LGPD. Artigo 4º. Esta Lei não se aplica ao tratamento de dados pessoais: I - realizado por pessoa natural para fins exclusivamente particulares e não econômicos; (...). (BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm Acesso em: 02 dez. 2021).

reversão do dado anonimizado.³²³ A RGPD adotou um conceito um pouco mais amplo a respeito de dados pessoais, pois considera qualquer tipo de informação que permita identificar ou estabelecer qualquer vínculo com o cidadão. A lei europeia pressupõe que dados anônimos são sempre passíveis de reversão.³²⁴

O grande poder computacional e as técnicas avançadas de anonimização, existentes hoje, são capazes de gerar processos eficazes de anonimização, mas, para isso, é necessário que sejam adequadamente construídas. Não há uma técnica de anonimização que possa ser aplicada a todos os casos, por isso cada caso deve ser analisado minuciosamente para que a técnica mais eficaz seja aplicada a depender das peculiaridades da rede. O objetivo das técnicas de anonimização sempre será tratar os dados pessoais, evitando a reversão e a identificação do usuário. A solidez das técnicas de anonimização pode ser analisada com base em três critérios: i) se após sua aplicação ainda é possível identificar uma pessoa, (ii) se ainda é possível estabelecer a ligação entre registros relativos a uma pessoa singular, e (iii) podem ser inferidas informações relativamente a um indivíduo? Cada uma das técnicas possui pontos fortes e fracos e, por isso, poderão funcionar de forma mais eficiente a depender do contexto.³²⁵

Portanto, a legislação de proteção de dados apenas se preocupa com o processamento de dados pessoais que possam identificar direta ou indiretamente os usuários. A partir do momento em que há uma anonimização, em tese, não haverá mais possibilidade de qualquer identificação, pois os dados anonimizados não poderão mais ser vistos por ninguém.

Vale lembrar que com a anonimização, os dados pessoais perdem completamente o valor para a organização que os processa. Embora os dados

³²³ LGPD. “Artigo 5º. Para os fins desta Lei, considera-se: (...) III - dado anonimizado: dado relativo à titular que não possa ser identificado, considerando a utilização de meios técnicos razoáveis e disponíveis na ocasião de seu tratamento; (...)”.

³²⁴ POLIDO, Fabrício B. Pasquot et al. GDPR e suas repercussões no direito brasileiro: primeiras impressões de análise comparativa. **Instituto de Referência em Internet e Sociedade**, Belo Horizonte, v. 208, 2018. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/328785001_GDPR_e_suas_repercussoes_no_direito_brasil_eiro_primeiras_impressoes_e_analise_comparativa. Acesso em: 23 nov. 2021.

³²⁵ Para se aprofundar a respeito das diferentes técnicas de anonimização, vale a leitura do Parecer nº 05/2014 confeccionado pelo Grupo de Trabalho de Proteção de Dados do artigo 29, da Comissão Europeia. COMISSÃO EUROPEIA. Grupo de trabalho de proteção de dados do artigo 29. **Parecer 05/2014 sobre técnicas de anonimização**. 2018. Disponível em: https://ec.europa.eu/justice/article-29/documentation/opinion-recommendation/files/2014/wp216_pt.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

continuem na rede *blockchain*, eles não podem mais ser identificados, e isso se assemelha ao apagamento do dado da rede.³²⁶

A própria LGPD estabelece, no artigo 12, que os dados anonimizados não serão considerados dados pessoais para fins dessa lei, salvo quando o processo de anonimização for revertido ou quando com esforços razoáveis puder ser revertido. Percebe-se, aqui, a cautela do legislador no sentido de excetuar casos em que haja condições técnicas razoáveis para reversão do processo de anonimização. Vale notar que o legislador usa o termo “esforços razoáveis”, dando a entender que o responsável pelo tratamento de considerar ainda, como dados pessoais, aqueles dados que mesmo anonimizados poderiam ser revertidos com a utilização de técnicas razoáveis de reversão.

Diferentemente ocorre com a técnica de pseudonimização que é um método reversível que permite que os dados pessoais sejam alternados por um pseudônimo, de forma a impossibilitar que terceiros tenham acesso a eles, salvo se forem portadores de uma chave específica. É uma técnica altamente recomendada pelas Autoridades de Proteção de Dados. Portanto, considerando esse contexto, um pseudônimo é um identificador que está associado a um indivíduo, pode ser uma combinação de letras, números e caracteres especial que ficam vinculados aos dados pessoais ou a indivíduos específicos, tornando os dados mais seguros, pois apenas quem tiver a chave de acesso poderá visualizá-los.³²⁷ O artigo 4º da RGPD define pseudonimização como sendo:

O tratamento de dados pessoais de forma que deixem de poder ser atribuídos a um titular de dados específico sem recorrer a informações suplementares, desde que essas informações suplementares sejam mantidas separadamente e sujeitas a medidas técnicas e organizativas para assegurar que os dados pessoais não possam ser atribuídos a uma pessoa singular identificada ou identificável.³²⁸

³²⁶ CNIL. Commission Nationale de L'informatique et des Libertés. **Solutions for a responsible use of the blockchain in the context of personal data**. 2018. Disponível em: https://www.cnil.fr/sites/default/files/atoms/files/blockchain_en.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

³²⁷ DATA PRIVACY MANAGER. **Pseudonymization according to the GDPR (definitions and examples)**. 2021. Disponível em: <https://dataprivacymanager.net/pseudonymization-according-to-the-gdpr/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

³²⁸ UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016. **Jornal Oficial da União Europeia**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679>. Acesso em: 06 nov. 2021.

A LGPD vai no mesmo sentido quando, no artigo 13, § 4º, define pseudonimização como sendo “o tratamento por meio do qual um dado perde a possibilidade de associação, direta ou indireta, a um indivíduo, senão pelo uso de informação adicional mantida separadamente pelo controlador em ambiente controlado e seguro”.

É importante destacar que, mesmo pseudonimizados, esses dados são considerados pessoais e merecem a proteção das legislações de proteção de dados pessoais (LGPD e RGPD), haja vista a possibilidade de reversão, com o uso da informação adicional (chave de acesso). Também é importante considerar que a chave de acesso pode ser exposta indevidamente por agentes maliciosos, o que coloca em risco os dados pessoais.

Portanto, a grande diferença entre anonimização e pseudonimização de dados pessoais é que o uso da primeira técnica impossibilita a reversão dos dados, de forma que eles perdem o valor para a organização que realizou o seu tratamento, bem como passam a não mais ser objeto de proteção das leis de proteção de dados pessoais. Já no método de pseudonimização, os dados pessoais ficam acobertados por um pseudônimo e caso se tenha autorização para acessar aqueles dados, será disponibilizada uma chave de acesso para a reversão da técnica e acesso ao conteúdo dos dados pessoais. Assim, mesmo pseudonimizado, os dados continuam sendo objeto de proteção das leis de proteção de dados pessoais, assim como não perdem valor para a organização que os trata.³²⁹

A *blockchain* não é a solução para todos os processos digitais e o seu uso deve partir de uma análise criteriosa, principalmente se envolver dados pessoais e redes *blockchains* públicas que dificultam o cumprimento das regras da LGPD. Mas se ao final da análise se verificar que há vantagens técnicas e de eficiência pela adoção da tecnologia, deve-se sempre ser priorizada ações, desde o início do projeto, utilizando-se, por exemplo de técnicas de PbD, no intuito de preservar a privacidade do titular dos dados. Pode-se também optar por manter os dados pessoais dos usuários *off-chain*. Assim, neste caso, todos os dados sensíveis seriam armazenados fora da cadeia em servidores distribuídos ou em nuvem, e os *hashes*, que é uma criptografia específica desses dados (a ligação a esses dados), são armazenados na camada

³²⁹ DATA PRIVACY MANAGER. **Pseudonymization according to the GDPR (definitions and examples)**. 2021. Disponível em: <https://dataprivacymanager.net/pseudonymization-according-to-the-gdpr/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

blockchain e servem como ponteiros a esses dados armazenados fora da cadeia. Esses ponteiros de controle não são os dados reais, mas uma pseudonimização dos dados originais que são armazenados em outro banco de dados que não estão sujeitos à imutabilidade de registros.³³⁰

Em não sendo possível a utilização de registros *off-chain*, os dados pessoais podem ainda ser armazenados sob a forma de um *commitment* criptográfico, ou de um *hash* aplicado sobre o dado pessoal cifrado. O *commitment* criptográfico pode ser conceituado como uma espécie de contrato, onde a mensagem original seria colocada em um envelope lacrado, ficando completamente oculta e sendo revelada apenas quando necessário.³³¹

Se essas técnicas de anonimização não forem possíveis, deve-se verificar se o tratamento de dados se justifica e se o risco residual é aceitável; sendo positiva a resposta, então, o dado pessoal pode subir à cadeia em texto plano ou submetido à função *hash*.³³²

O artigo 20 da LGPD estabelece que o titular dos dados tem o direito de solicitar a revisão das decisões automatizadas, tais como aquelas destinadas a definir o seu perfil pessoal, profissional, de consumo, de crédito ou que definam aspectos de sua personalidade.³³³ O direito à revisão de decisões automatizadas é muito mais complexo em redes descentralizadas como a *blockchain* do que em redes tradicionais, devido às suas peculiaridades técnicas.

³³⁰ LIMA, Claudio. Blockchain GDPR privacy by design. **IEEE Blockchain Group**, 2018. Disponível em: <https://blockchain.ieee.org/images/files/pdf/blockchain-gdpr-privacy-by-design.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

³³¹ MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021.

³³² CNIL. Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés. **Solutions for a responsible use of the blockchain in the contexto of personal data**. 2018. Disponível em: https://www.cnil.fr/sites/default/files/atoms/files/blockchain_en.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021. Veja Também: MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021.

³³³ LGPD. “Artigo 20. O titular dos dados tem direito a solicitar a revisão de decisões tomadas unicamente com base em tratamento automatizado de dados pessoais que afetem seus interesses, incluídas as decisões destinadas a definir o seu perfil pessoal, profissional, de consumo e de crédito ou os aspectos de sua personalidade. § 1º O controlador deverá fornecer, sempre que solicitadas, informações claras e adequadas a respeito dos critérios e dos procedimentos utilizados para a decisão automatizada, observados os segredos comercial e industrial. § 2º Em caso de não oferecimento de informações de que trata o § 1º deste artigo baseado na observância de segredo comercial e industrial, a autoridade nacional poderá realizar auditoria para verificação de aspectos discriminatórios em tratamento automatizado de dados pessoais”.

Os contratos inteligentes permitem a realização de transações de forma automatizada. Uma vez que a condição programada no sistema seja implementada por um dos participantes da contratação, o contrato será executado automaticamente.

Entretanto, para que seja possível cumprir as regras de LGPD, deve-se encontrar soluções técnicas que permitam salvaguardar os direitos dos titulares dos dados, no sentido de possibilitar a intervenção no processo quando houver contestação a respeito da decisão tomada após a execução do contrato inteligente.

Uma das características mais inovadoras da *blockchain*, aclamada por Nakamoto, é justamente se tratar de um sistema seguro para transações eletrônicas que independe da confiança que as partes guardam entre si.³³⁴ Isso é possível graças à segurança e à transparência que são inerentes às *blockchains*, que eliminam a necessidade de um terceiro de confiança para validar as transações em ambientes não confiáveis. A *blockchain*, na verdade, descentraliza a confiança de uma única entidade para milhões de usuários distribuídos por todo o mundo. E o que garante sua integridade transacional e a sua auditabilidade é, justamente, a sua imutabilidade. Entretanto, esta qualidade tão importante pode se contrapor a alguns direitos estabelecidos nas Leis de Proteção de Dados, quando o que está em jogo são dados pessoais.³³⁵

O Parlamento Europeu e a Autoridade Francesa de Proteção de Dados têm publicado documentos a respeito da utilização de DLTs para tratamento de dados pessoais e ambos entendem que as redes *blockchains* devem ser utilizadas de forma criteriosa, pois algumas características inerentes às redes descentralizadas podem dificultar o tratamento dos dados em conformidade com a legislação.

A LGPD prevê alguns direitos aos titulares de dados, como o direito ao esquecimento (apagamento de dados) e o direito à retificação que esbarram na característica de imutabilidade da rede *blockchain*. Quanto a este problema, há estudos sugerindo que a solução, para isso, seria salvar os dados pessoais dos usuários fora da cadeia (*off-chain*). Assim, os dados seriam classificados em duas categorias, dados pessoais e dados não pessoais, sendo o armazenamento dos

³³⁴ NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin**: A peer-to-peer electronic cash system. 2008. Disponível em: <https://www.bitcoinpaper.info/bitcoinpaper-html/>. Acesso em: 10 out. 2021.

³³⁵ POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

primeiros realizados fora da rede *blockchain* de forma a possibilitar a sua retificação e seu eventual apagamento.

De toda sorte, sugere-se cautela na adoção de *blockchains* públicas para fins de tratamento de dados pessoais, principalmente porque nesse ambiente é muito difícil identificar os responsáveis por alguma infração à lei de proteção de dados.

Ressalta-se, também, da pesquisa, que não há um tipo específico de DLT que seja compatível com a lei de proteção de dados, sendo necessário que esta análise seja realizada caso a caso.³³⁶

➤ Quanto ao direito de retificação

A Lei de Proteção de Dados Europeia confere ao titular dos dados pessoais o direito de obter do responsável pelo tratamento a retificação de dados inexatos e ou incompletos (artigo 16).³³⁷ De igual forma, a LGPD, em seu artigo 18, confere ao titular dos dados pessoais o direito de retificação de seus dados pessoais que estejam incompletos, inexatos ou desatualizados.³³⁸

A imutabilidade e a irreversibilidade são propriedades fundamentais da *blockchain*, que decorrem do fato de que as transações não podem ser editadas ou excluídas, uma vez que são aprovadas e registradas com sucesso na blockchain.³³⁹

O vínculo entre os blocos na rede *blockchain* é realizado através do *hash* de todas as transações gravadas em um determinado bloco. A alteração do bloco

³³⁶ MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021. Veja também: FINCK, Michèle. **Blockchain and the General Data Protection Regulation: Can distributed ledgers be squared with European data protection law?** Bruxelas: Parlamento Europeu, 2019. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2019\)634445](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2019)634445) Acesso em: 09 nov. 2021. E ainda: CNIL. Commission Nationale de L'informatique et des Libertés. **Solutions for a responsible use of the blockchain in the contexto of personal data**. 2018. Disponível em: https://www.cnil.fr/sites/default/files/atoms/files/blockchain_en.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

³³⁷ UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016. **Jornal Oficial da União Europeia**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679>. Acesso em: 06 nov. 2021.

³³⁸ BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm Acesso em: 02 dez. 2021.

³³⁹ POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

danificaria toda a cadeia, vez que se perderia o vínculo com os demais blocos. Tendo em vista que o novo bloco minerado passa a ser uma cópia fiel de todos os blocos anteriores, a retificação de um bloco do meio da cadeia forçaria um recálculo de todos os demais blocos posteriores, exigindo uma grande força computacional e um altíssimo dispêndio de energia. Quanto mais longa uma cadeia de blocos for, mais resistente serão as alterações. Portanto, retificar dados dentro de uma rede *blockchain* longa não é economicamente viável. Não há como retificar uma cadeia sem deixar rastros da alteração. As *blockchains* são conhecidas por permitirem apenas a adição de transações, nunca exclusão.³⁴⁰

A alteração é possível apenas se houver concordância da maioria dos blocos, o que é bastante difícil conseguir em uma *blockchain* pública, tendo em vista o seu tamanho. Já em uma *blockchain* privada, menor, caso haja concordância dos demais nós, a informação pode ser alterada. Uma alternativa para a *blockchain* pública seria inserir os dados atualizados ou retificados em um novo bloco, com objetivo de anular a operação anterior. Neste caso, os dados da transação antiga não se apagarão, mas seus efeitos serão interrompidos em razão da nova transação registrada.³⁴¹

➤ Quanto ao direito ao esquecimento

Um dos maiores conflitos entre a *blockchain* e a LGPD é o direito ao esquecimento, ou seja, a capacidade de apagar os dados e registros pessoais. A tecnologia *blockchain* impede o exercício desse direito do titular dos dados, pois, em

³⁴⁰ MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021. Veja também: POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

³⁴¹ MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021. Veja também: POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

princípio, todos os dados lançados na *blockchain* seriam perpétuos e imutáveis, o que, claramente, representa um problema na visão das leis de proteção de dados.³⁴²

Imagine-se o registro em *blockchain*, por exemplo, de um perfil de crédito negativo relativo a uma determinada pessoa, e que hoje se encontra em um outro momento de vida e, portanto, não reflete mais aquela realidade. Terá essa pessoa que conviver com a existência dessa informação negativa a respeito de sua pessoa indefinidamente?

Recentemente, o direito ao esquecimento, foi debatido pelo Supremo Tribunal Federal nos autos de Recurso Extraordinário nº 1.010.606, da Relatoria do Ministro Dias Toffoli. No caso específico, por maioria de votos, fixou-se entendimento de que o direito ao esquecimento não guarda compatibilidade com a ordem jurídica constitucional, por não haver previsão expressa na CF/88 ou na legislação infraconstitucional e, também, por restringir de forma ilegítima a liberdade de expressão e de informação. A discussão foi acirrada e fez com que vozes balizadas do direito se arvorassem na defesa do direito ao esquecimento, quando as informações não mais possuem interesse público. Restou expressamente fixado no acórdão que a aplicação do direito ao esquecimento afronta a liberdade de expressão e que um comando jurídico que possibilite o apagamento de dados verdadeiros, lícitamente obtidos e com adequado tratamento dos dados nela inseridos, precisa estar previsto em lei, de forma clara e sem anulação da liberdade de expressão, não podendo ser fruto apenas de ponderação judicial.³⁴³

³⁴² QUEIROZ, Daniel Rodrigues. **Os conflitos entre a Lei Geral de Proteção de Dados pessoais e a tecnologia blockchain**. 2020. 38 f. TCC (Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/882>. Acesso em 14 fev. 2022.

³⁴³ “Recurso extraordinário com repercussão geral. Caso Aída Curi. Direito ao esquecimento. Incompatibilidade com a ordem constitucional. Recurso extraordinário não provido. 1. Recurso extraordinário interposto em face de acórdão por meio do qual a Décima Quinta Câmara Cível do Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro negou provimento a apelação em ação indenizatória que objetivava a compensação pecuniária e a reparação material em razão do uso não autorizado da imagem da falecida irmã dos autores, Aída Curi, no programa Linha Direta: Justiça. 2. Os precedentes mais longínquos apontados no debate sobre o chamado direito ao esquecimento passaram ao largo do direito autônomo ao esmaecimento de fatos, dados ou notícias pela passagem do tempo, tendo os julgadores se valido essencialmente de institutos jurídicos hoje bastante consolidados. A utilização de expressões que remetem a alguma modalidade de direito a reclusão ou recolhimento, como *droit a l’oubli* ou *right to be let alone*, foi aplicada de forma discreta e muito pontual, com significativa menção, ademais, nas razões de decidir, a direitos da personalidade/privacidade. Já na contemporaneidade, campo mais fértil ao trato do tema pelo advento da sociedade digital, o nominado direito ao esquecimento adquiriu roupagem diversa, sobretudo após o julgamento do chamado Caso González pelo Tribunal de Justiça Europeia, associando-se o problema do esquecimento ao tratamento e à conservação de informações pessoais na internet. (...) *omissis*. 5. A previsão ou aplicação do direito ao

Não obstante o Supremo Tribunal Federal tenha fixado este entendimento, no que concerne à proteção de dados pessoais, há dispositivo legal expresso prevendo a possibilidade da eliminação dos dados, o que supre a necessidade de Lei regulando a matéria mencionada no acórdão acima destacado. A LGPD não usa diretamente o termo direito ao esquecimento, mas é possível extraí-lo, por exemplo, do contido no artigo 5º, inciso XIV, que usa o termo eliminação no sentido de exclusão dos dados ou do conjunto de dados armazenados no banco de dados. Ainda, o artigo 18, inciso VI, da LGPD, estabelece que o titular dos dados pessoais tem o direito de requerer do controlador a eliminação dos dados pessoais tratados com o seu consentimento.

O direito ao esquecimento vem destacado expressamente também no artigo 17 da RGPD, o qual estabelece que o titular dos dados tem o direito de obter do responsável pelo tratamento o apagamento de seus dados pessoais quando: a) os dados pessoais deixaram de ser necessários; b) quando retirar o consentimento em que se baseou o tratamento dos dados; c) quando se opor ao tratamento ou não existirem interesses legítimos prevalecentes que justifiquem o tratamento; d) no caso dos dados pessoais terem sido tratados ilícitamente; e) o apagamento deva ser feito em razão de uma obrigação jurídica a que o responsável pelo tratamento esteja sujeito; e f) quando se tratarem de dados pessoais de crianças, desde que tenham sido autorizadas por seus responsáveis.³⁴⁴

A *blockchain*, por natureza, é incapaz de esquecer, pois a alteração de dados registrados na rede é reconhecida como quase impossível. Aqui, entende-se que há uma colisão de interesses. Há um embate entre a segurança da rede e o direito à privacidade e a proteção dos dados. Tanto a LGPD quanto a RGPD não fazem

esquecimento afronta a liberdade de expressão. Um comando jurídico que eleja a passagem do tempo como restrição à divulgação de informação verdadeira, lícitamente obtida e com adequado tratamento dos dados nela inseridos, precisa estar previsto em lei, de modo pontual, clarividente e sem anulação da liberdade de expressão. Ele não pode, ademais, ser fruto apenas de ponderação judicial. (...) *omissis*. 8. Fixa-se a seguinte tese: “É incompatível com a Constituição a ideia de um direito ao esquecimento, assim entendido como o poder de obstar, em razão da passagem do tempo, a divulgação de fatos ou dados verídicos e lícitamente obtidos e publicados em meios de comunicação social analógicos ou digitais. Eventuais excessos ou abusos no exercício da liberdade de expressão e de informação devem ser analisados caso a caso, a partir dos parâmetros constitucionais - especialmente os relativos à proteção da honra, da imagem, da privacidade e da personalidade em geral - e das expressas e específicas previsões legais nos âmbitos penal e cível”. BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **RE nº 1.010.606/RJ**, Rel. Min. Dias Toffoli, j. 11/02/2021. Disponível em: <https://redir.stf.jus.br/paginadorpub/paginador.jsp?docTP=TP&docID=755910773> Acesso em: 19 nov. 2021.

³⁴⁴ UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016. **Jornal Oficial da União Europeia**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679>. Acesso em: 06 nov. 2021.

qualquer referência em suas normas à *blockchain*. Sugere-se, aqui, uma rápida reforma na lei para que, também, abarque as redes de cadeia de blocos, pois, a insegurança jurídica causada pelo vácuo legislativo trará um grande volume de judicializações e, certamente, o Poder Judiciário não estará apto tecnicamente a resolver de forma adequada.

Para tentar resolver o problema do direito ao esquecimento, uma opção seria utilizar o armazenamento *off-chain* dos dados pessoais, ou seja, registrar os dados pessoais dos usuários fora da cadeia de blocos, de forma a poder eliminá-los posteriormente.

➤ Direito à informação, direito de acesso e portabilidade dos dados pessoais

Considerando que uma das principais características da *blockchain* é justamente a transparência, não há problemas com o cumprimento no disposto no artigo 6º, inciso VI da LGPD, onde é garantido ao titular dos dados a visibilidade a respeito do que venha a ser feito com os seus dados pessoais. Neste sentido, lembre-se que as transações são gravadas em uma *blockchain* com base em um sistema de consenso distribuído por toda a rede, sendo que cada um dos nós possui uma cópia integral do *ledger*. Imaginando que um usuário seja um nó da rede, ele terá acesso à forma como os seus dados foram tratados, adequando-se, assim, ao princípio da transparência.³⁴⁵

Já no que concerne ao direito de acesso e de portabilidade dos dados pessoais, a LGPD, em seu artigo 18, §§ 2º e 5º, garante ao titular dos dados pessoais o direito de exigir do controlador o acesso aos seus dados pessoais, bem como requerer a portabilidade desses dados a um outro controlador.³⁴⁶ Embora esses não sejam direitos incompatíveis com a tecnologia *blockchain*, deve-se ter em mente que em se

³⁴⁵ PUCCINELLI, O. R. **Blockchains y otras formas de contabilidad distribuída (DLT) y su impacto en la protección de los datos personales**. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3akRFjl>. Acesso em: 10 nov. 2021. Veja também: MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021.

³⁴⁶ BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 02 dez. 2021.

tratando de *blockchain* pública, normalmente não há identificação de controladores, o que tornaria impossível exercer esse direito.³⁴⁷

Nessas situações, a melhor técnica seria a utilização de *blockchain* privada. Quando houver uso de *smart contracts*, deve-se implementar o direito à informação na programação.

➤ Transferência internacional de dados e territorialidade

O artigo 3º, inciso I, da LGPD, estabelece que a Lei se aplica a operações de tratamento realizadas no território nacional. Entretanto, em se tratando de *blockchain* pública, onde os membros da rede podem estar em qualquer lugar do mundo, não há como saber se o tratamento dos dados pessoais está sendo realizado em território nacional.

Outra questão é a transferência internacional de dados. A LGPD apenas permite a transferência de dados para países que tenham lei que conceda o mesmo grau de proteção aos dados pessoais (artigo 33, inciso I, da LGPD). Assim, essas transferências podem ser problemáticas em uma *blockchain* pública, onde não se sabe ao certo onde se encontram os nós.

A solução aqui é também se utilizar de *blockchain* privada (permissionada), haja vista que em *blockchain* pública não será possível identificar a localização dos nós. Para garantir a aplicação da Lei, os nós que realizam o tratamento de dados devem estar em território nacional.

Como visto, tanto o legislador europeu, quanto o brasileiro foram omissos em relação às redes descentralizadas, dificultando em muito a vida dos operadores do direito e agentes reguladores. Haverá ainda muita celeuma em torno do assunto e certamente esse vácuo regulatório trará prejuízo para a utilização e desenvolvimento da tecnologia no Brasil.

³⁴⁷ CNIL. Commission Nationale de Línformatique et des Libertés. **Solutions for a responsible use of the blockchain in the context of personal data**. 2018. Disponível em: https://www.cnil.fr/sites/default/files/atoms/files/blockchain_en.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021. Veja Também: MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021.

CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido neste trabalho reflete a simbiose e dependência instrumental que existe, atualmente, entre o direito e as TICs, principalmente quando o que se está a discutir são os direitos fundamentais ao desenvolvimento sustentável, à boa administração Pública, à privacidade e o princípio da eficiência administrativa.

A pesquisa imprimiu clareza à necessidade de o Estado investir em tecnologias que possibilitem um desenvolvimento econômico sustentável, balizado no tripé da sustentabilidade: social, ambiental e econômica. O investimento público em novas tecnologias que promovam melhorais nos serviços oferecidos à população, é um dever do Administrador Público fulcrado nos direitos fundamentais do desenvolvimento econômico sustentável, da boa administração pública e do princípio da eficiência administrativa, mas sem se descuidar o direito fundamental à privacidade. Não obstante o empreendedor privado também tenha um papel relevante no desenvolvimento de novas tecnologias, a inovação decorre de uma conjunção de fatores, advindos de um cenário de investimento favorável implementado pelo Poder Público.

O direito fundamental à boa administração pública e ao desenvolvimento econômico sustentável, aliados ao princípio da eficiência administrativa devem orientar o administrador público em suas decisões, servindo como contrapeso ao poder discricionário que, por muitas vezes, é utilizado de forma abusiva. Pode-se dizer que o direito fundamental à boa administração pública vem subsidiar o direito ao desenvolvimento econômico sustentável, já que decisões ótimas do Administrador Público contemplam o uso das novas tecnologias, uso racional dos recursos naturais e maior interesse público, tratando o cidadão como peça central da administração e não como objeto a ser administrado.

Partindo-se da pesquisa realizada, é possível concluir que os direitos fundamentais do desenvolvimento sustentável e da boa administração pública exigem um agir eficiente do Estado, no sentido de que todos os seus atos sejam pautados pela sustentabilidade, pela preocupação social e econômica. Assim, o princípio da eficiência administrativa impõe um agir célere, sustentável, econômico, produtivo e social.

A pesquisa desenvolvida buscou situar a *blockchain* historicamente, trazendo seus antecedentes e origens, para, então, adentrar na arquitetura da rede e trazer as

principais características disruptivas que a tornam uma opção segura para uso tanto em organizações privadas como públicas.

Estabeleceu-se uma relação clara entre o surgimento da *blockchain* e a tecnologia TCP/IP que revolucionou a internet na década de 1990. Destacou-se várias similitudes entre essas redes. Uma primeira e importante semelhança é que a *blockchain*, assim como a TCP/IP, é um livro público aberto e compartilhado e possibilita conexões de baixo custo e com potencial para criar uma mudança radical em todos os setores, onde um registro de transação de arquivos é um componente primário de algum negócio. Comparativamente, o *Bitcoin* pode ser considerado o e-mail do TCP/IP, ou seja, a primeira aplicação de sucesso que deu início ao desenvolvimento da tecnologia.

A partir dos estudos realizados, pôde-se concluir também que as tecnologias mais avançadas têm surgido em momentos de grande tensão mundial, não por acaso, este é o período de maior investimento em desenvolvimento e pesquisa. Foi assim, com a criação dos primeiros computadores durante a II Guerra Mundial, que tinham como objetivo decifrar códigos criptografados de inimigos. Posteriormente, no auge da Guerra Fria, durante os anos de 1950, a pesquisa a respeito dos computadores avançou, passando-se a idealizá-los como ferramentas de comunicação e controle de informações, momento em que as redes de informação começaram a ser desenvolvidas, culminando com a criação do TCP-IP. A *blockchain*, por sua vez, foi criada e desenvolveu-se a partir da grande crise financeira de 2008, com o objetivo de blindar as finanças dos desmandos do sistema financeiro mundial.

Também foi realizada a conceituação e descrição do funcionamento das redes *blockchain*. A *blockchain* é um livro de registros contábeis imutável que facilita o processo de registro de transações, possibilitando um fácil rastreamento. Destacou-se a existência de *blockchains* públicas que permitem a entrada e a saída de qualquer pessoa sem qualquer autorização, bastando que o nó possua um pseudônimo válido (endereço de conta) e seja capaz de enviar, receber e validar transações e blocos. E as *blockchains* privadas ou permissionadas exigem que os participantes sejam autorizados primeiro e, em seguida, participem da operação da rede com identidade revelada. Essas segundas são as mais indicadas para utilização no setor público, principalmente quando há tratamento de dados pessoais, haja vista a possibilidade de identificar com facilidade seus usuários.

Estudou-se, também, dois dos principais protocolos de consenso utilizados pelas *blockchain*, o PoW e o PoS. O PoW solucionou uma grave falha de criptografia, denominada Problema dos Generais Bizantinos, que possibilitava ataques de gastos duplos. Para impedir o ataque, o PoW exige que o comerciante espere até que a transação tenha sido adicionada a um bloco, para, só então, entregar a posse física de um bem, reduzindo ao mínimo a probabilidade de um ataque ter sucesso. Então, no PoW, com o objetivo de validar um bloco de transação, os nós da *blockchain* (mineradores) devem encontrar um valor de *hash* do bloco que atenda a um determinado requisito de dificuldade. O primeiro minerador que encontrar a solução, a transmite para os outros nós para que estes concordem com a solução. Se o consenso for alcançado, o novo bloco será anexado a cadeia e ficará registrado em todos os demais blocos mantidos pela rede.

Já a PoS (prova de participação) tem por objetivo ser uma alternativa energeticamente eficiente para a mineração, em relação ao PoW. Uma participação se refere às moedas ou *tokens* de rede pertencentes ao participante que podem ser investidas no protocolo de consenso da *blockchain*. O PoS se aproveita da propriedade de *tokens* para mitigar ou evitar os ataques Sybil. Assim, o PoS move o custo de oportunidade de uma mineração de fora do sistema (poder computacional e eletricidade) para dentro do sistema (perda de capital e ganho de investimento).

A partir da pesquisa realizada, pôde-se concluir que o mecanismo PoW ainda é considerado o mais confiável e que produz maior equidade na mineração dos blocos, mas, por outro lado, causa grande consumo de energia. O PoS, por seu turno, pode reduzir significativamente o consumo de energia, mas possui menor confiabilidade e equidade. A solução seria a combinação dos dois protocolos que, segundo pesquisas já realizadas, solucionaria a questão da confiabilidade e do consumo de energia. Descobriu-se que protocolos de consenso contendo 20% de PoW e 80% PoS garante uma maior segurança na rede e gasta menos energia do que um protocolo baseado 100% em PoS.

Por fim, na pesquisa, apresentou-se a experiência brasileira em redes *blockchain*, o que evidencia o pleno desenvolvimento da tecnologia também em solo nacional. No que tange à regulação da *blockchain*, destacou-se os desafios da regulação das novas tecnologias. Em um ambiente disruptivo, a inovação se desenvolve muitas vezes mais rápido do que as normas regulatórias podem alcançar, e essa insuficiência regulatória pode gerar altos níveis de insegurança jurídica, bem

como inibir a inovação. Como alternativas ao sistema regulatório tradicional, são apresentadas a regulação dinâmica, regulação por princípios e as *sandbox* regulatórias por se tratar de modelos regulatórios mais flexíveis e que se adequam mais facilmente à incessante evolução das novas tecnologias.

Como ponto final de discussão, foram trazidos os principais aspectos da LGPD aplicáveis às *blockchain*. Conclui-se que a nova Lei foi estruturada pensando-se unicamente nas redes tradicionais centralizadas, sendo, portanto, bastante difícil adequar seus institutos às redes descentralizadas. Não obstante a dificuldade encontrada, foram apresentadas soluções técnicas que possibilitariam a adequação da rede *blockchain* à LGPD, tais como a utilização de técnicas de anonimização e de pseudonimização de dados e de aplicação de PbD, como forma de minimização de riscos à privacidade.

Do aprofundado estudo que se realizou a respeito das redes blockchain, pode-se afirmar que elas possuem um alto potencial para causar uma disrupção na gestão pública, principalmente considerando-se que um dos seus principais problemas, o alto gasto energético, pode ser resolvido com a utilização conjunta do PoW e PoS, como se demonstrou no desenvolvimento do presente trabalho. De igual forma, é possível concluir a partir da pesquisa realizada que fazendo-se as adequações sugeridas no decorrer do último capítulo dessa dissertação, a rede blockchain se adequa ao cumprimento do direito fundamental da privacidade e do novo direito fundamental da proteção de dados, inserido recentemente pela EC 115/2022.

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, Shubhani; KUMAR, Neeraj. Chapter Eight - History of blockchain-Blockchain 1.0: Currency. **Advances in Computers**, v. 121, p. 147-169, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065245820300632>. Acesso em: 20 out. 2021.

AGGARWAL, Shubhani. Chapter Fifteen - Blockchain 2.0: smart contracts. **Advances in Computers**, v. 121, p. 301-322, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S006524582030070X>. Acesso em: 20 out. 2021.

AGUERRE, Carolina. The internet in Argentina and Brazil: the origins of networking experiences. **Information & Culture**, v. 52, n. 2, p. 264-294, 2017. Disponível em:

<https://www.utexaspressjournals.org/doi/abs/10.7560/IC52206>. Acesso em: 04 out. 2021.

ALBERINI, Daniel Vinícius; BOGUSZEWSKI, Leonardo Deeke. Por dentro do subprime: a crise imobiliária americana e seus impactos na economia brasileira. **Vitrine da Conjuntura, Curitiba**, v. 1, n. 2, p. 1-10, 2008. Disponível em:

<https://img.fae.edu/galeria/getImage/1/745596955587767.pdf>. Com acesso em 14 fev. 2022.

ALMEIDA, Rafael Bruno. **Evolução dos Processadores**: comparação das famílias de processadores Intel e AMD. Instituto de Computação Unicamp, 2019. Disponível em: <https://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2009/T2/089065-t2.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ANDREESSEN, Marc. Why Bitcoin matters. **New York Times**, v. 21, 2014. Disponível em: <https://dealbook.nytimes.com/2014/01/21/why-bitcoin-matters/>. Acesso em: 11 out. 2021.

ARAUJO, Joelma Maria. **Inovação e ciclos econômicos em Schumpeter e Minsky**. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, UFAL, Maceió, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1447>. Acesso em: 14 fev. 2022.

AUSTRALIAN GOVERNAMENT. Department of industri, science, energy and resources. **National blockchain roadmap**, fev. 2020. Disponível em:

<https://www.industry.gov.au/data-and-publications/national-blockchain-roadmap>. Acesso em: 25 jul. 2020.

BACON, Jean et al. Blockchain demystified: a technical and legal introduction to distributed and centralized ledgers. **Rich. JL & Tech.**, v. 25, p. 1, 2018. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/jolt25&div=4&id=&page=>. Acesso em: 08 nov. 2021.

BAIÃO, Renata Barros Souto Maior. **Blockchain, registros públicos e a possibilidade de reinvenção dos serviços cartorários extrajudiciais**. Disponível em: <https://www.lexmachinae.com/2018/12/05/blockchain-registros-publicos-reinvencao-cartorios-extrajudiciais/>. Acesso em: 23 set. 2019.

BASSO, Leonardo Fernando Cruz; SILVA, Marcelo Roque da. Reflexões sobre a regulamentação. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 4, p. 67-85, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/Sr3XD7nLLJvfmyMzDzkKfdj/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 jan. 2022.

BEDIN, Gilmar Antônio. Direitos humanos e desenvolvimento. Algumas reflexões sobre a constituição do direito ao desenvolvimento. **Desenvolvimento em questão**, v. 1, n. 1, p. 123-149, 2003. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/752/75210107.pdf>. Acesso em 31 mar. 2022.

BELOTTI, Marianna et al. A vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760539>. Acesso em: 14 out. 2021.

BESANÇON, Yves. L'hégémonie anachronique du PIB. **Idées économiques et sociales**, n. 3, p. 43-48, 2013. Disponível em: https://www.cairn.info/revue-idees-economiques-et-sociales-20133page43.htm?utm_source=briefeco&referrer=briefeco. Acesso em: 28 set. 2021.

BINANCE ACADEMY. **Guia sobre Selfish Mining**. 2021. Disponível em: <https://academy.binance.com/pt/articles/selfish-mining-explained>. Acesso em: 13 out. 2021.

BIT2ME ACADEMY. **O que é o CoinJoin?** Disponível em: <https://academy.bit2me.com/pt/o-que-%C3%A9-coinjoin/>. Acesso em: 27 nov. 2021.

BITCOIN ART GALLERY. **The Times 03/Jan/2009 “Chancellor on brink of second bailout for banks” Genesis Block Time-Stamp**. Disponível em: <https://cryptocurrencyart.com/2009/01/03/Bitcoin-genesis-newspaper-chancellor-on-brink-of-second-bailout-for-banks/>. Acesso em: 11 out. 2021.

BLACK, Julia. Decentring regulation: Understanding the role of regulation and self-regulation in a ‘post-regulatory’ world. **Current legal problems**, v. 54, n. 1, p. 103-146, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/JuliaBlack9/publication/30527050_Decentring_Regulation_Understanding_the_Role_of_Regulation_and_SelfRegulation_in_a_'PostRegulatory'_World/links/00b4952eb889c858c6000000/Decentring-Regulation-Understanding-the-Role-of-Regulation-and-Self-Regulation-in-a-Post-Regulatory-World.pdf. Acesso em: 30 out. 2021.

BLACK, Julia. Forms and paradoxes of principles-based regulation. **Capital Markets Law Journal**, v. 3, n. 4, p. 425-457, 2008. Disponível em:

<https://academic.oup.com/cmlj/article/3/4/425/430498?login=true>. Acesso em: 30 out. 2021.

BLACK, Julia. Constructing and contesting legitimacy and accountability in polycentric regulatory regimes. **Regulation & governance**, v. 2, n. 2, p. 137-164, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1748-5991.2008.00034.x>. Acesso em: 30 out. 2021.

BOJANOVA, Irena. The Digital Revolution: What's on the Horizon? **IT Professional**, v. 16, n. 1, p. 8-12, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6756877>. Acesso em: 14 fev. 2022.

BONAVIDES, Paulo. **Curso de direito constitucional**. 14. ed. São Paulo: Malheiros, 2004.

BRANDEIS, Louis. WARREN, Samuel. The Right to Privacy. **Harvard Law Review**, v. IV, December 15, 1980, n. 5. Disponível em: http://groups.csail.mit.edu/mac/classes/6.805/articles/privacy/Privacy_brand_warr2.html. Acesso em: 25 jan. 2022.

BRASIL. Banco Central do Brasil. **Plataforma do BC com tecnologia *blockchain* facilitará troca de dados na supervisão do sistema financeiro**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/249/noticia>. Acesso em: 26 jul. 2020.

_____. Banco Central do Brasil. **Distributed Ledger Technical Research in Central Bank of Brazil. Positioning report**. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/publicacoes/outras_pub_alfa/Distributed_ledger_technical_research_in_Central_Bank_of_Brazil.pdf. Acesso em: 27 jul. 2020.

_____. Comissão de Valores Mobiliários. **Instrução Normativa CVM nº 626 de 15 de maio de 2020**. Dispõe sobre as regras para constituição e funcionamento de ambiente regulatório experimental (sandbox regulatório). Disponível em: <http://conteudo.cvm.gov.br/legislacao/instrucoes/inst626.html>. Acesso em: 30 out. 2021

_____. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2021]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 15 nov. 2021.

_____. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 2.303/2015**. Dispõe sobre a inclusão das moedas virtuais e programas de milhagem aéreas na definição de "arranjos de pagamento" sob a supervisão do Banco Central. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1555470>. Acesso em: 02 dez. 2021.

_____. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 02 dez. 2021.

_____. **Decreto-Lei nº 4.657/1942.** Lei de Introdução as Normas do Direito Brasileiro. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del4657.htm. Acesso em: 26 jan. 2022.

_____. Lei nº 9.784/1999. Regula o Processo Administrativo no âmbito da Administração Pública Federal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9784.htm. Acesso em: 26 jan. 2022.

_____. Receita Federal do Brasil **Receita Federal publica norma sobre compartilhamento de dados utilizando tecnologia *Blockchain***. Disponível em: <http://receita.economia.gov.br/noticias/ascom/2018/novembro/receita-federal-publica-norma-sobre-compartilhamento-de-dados-utilizando-tecnologia-blockchain>. Acesso em: 26 jul. 2020.

_____. Supremo Tribunal Federal. **RE nº 1.010.606/RJ**, Rel. Min. Dias Toffoli, j. 11/02/2021. Disponível em: <https://redir.stf.jus.br/paginadorpub/paginador.jsp?docTP=TP&docID=755910773> Acesso em: 19 nov. 2021.

_____. Supremo Tribunal Federal. **ADI nº 6.387/DF**, Rel. Min. Rosa Weber, j. 07/05/2020. Disponível em: <http://portal.stf.jus.br/processos/downloadPeca.asp?id=15344949214&ext=.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022

_____. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento da Tecnologia *Blockchain***. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/processo/031.044%252F2019-0/%2520/DTAUTUACAOORDENACAO%2520desc%252C%2520NUMEROCOMZEROS%2520desc/0/%2520?uuid=ce034160-bbc6-11ea-ad32-519ab286dea0>. Acesso em: 25 jul. 2020.

_____. EC nº 115 de 10 de fevereiro de 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc115.htm. Acesso em: 14 fev. 2022

BRESNAHAN, Timothy F.; TRAJTENBERG, Manuel. General purpose technologies 'Engines of growth'?. **Journal of econometrics**, v. 65, n. 1, p. 83-108, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030440769401598T> Acesso em: 21 out. 2021.

BU, Fei et al. "Privacy by Design" implementation: Information system engineers' perspective. **International Journal of Information Management**, v. 53, p. 102124, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268401219308606>. Acesso em: 20 nov. 2021.

BUTENKO, Anna; LAROUCHE, Pierre. Regulation for Innovativeness or Regulation of Innovation? 2015. **TILEC Discussion Paper n. 2015-007**. Disponível em:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2584863. Acesso em: 29 out. 2021.

CADARSO, Javier Casado. **Blockchain en la administración electrónica**. Barcelona, Espanha: Universitat Oberta de Catalunya, 2019, p. 10. Disponível em: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/91128/6/jcasadocadTFM0119memoria.pdf>. Acesso em: 04 jun.2020.

CAMPAGNOLLI, Igor de Carvalho Leal. Modelo Constitucional do Desenvolvimento no Estado Democrático Brasileiro. **Revista de Direito Constitucional e Internacional**, p. 87-105, nov./dez. 2019.

CAMPOS, Emília Malgueiro. **Criptomoedas e Blockchain: O Direito no Mundo Digital**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2018.

CARTER, Ruth B.; MARCHANT, Gary E. Principles-based regulation and emerging technology. The Growing Gap Between Emerging Technologies and Legal-Ethical Oversight. **Springer Link**, Dordrecht, 2011. p. 157-166. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_10. Acesso em: 30 out. 2021.

CARVALHO, Marcelo Sávio Revoredo Menezes de. **A trajetória da Internet no Brasil: do surgimento das redes de computadores à instituição dos mecanismos de governança**. 2006. 239 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/1430748034.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.

CASSI, Guilherme Helfenberger Galino. **Quarta revolução industrial: a influência da matriz institucional à promoção da inovação tecnológica no Brasil**. 202 f. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://www.pucpr.br/escola-de-direito/mestrado-e-doutorado/producao-academica/>. Acesso em: 02 dez. 2021.

CAVOUKIAN, Ann et al. Privacy by design: The 7 foundational principles. **Information and privacy commissioner of Ontario**, Canadá, v. 5, p. 12, 2009. Disponível em: <https://oarc.duke.edu/sites/default/files/documents/Privacy%20by%20Design%20%207%20Foundational%20Principles.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.

CAVOUKIAN, Ann. **Privacy by design and the emerging personal data ecosystem**. Ontário, Canadá, 2012. Disponível em: <https://www.ipc.on.ca/wp-content/uploads/Resources/pbd-pde.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021.

CAVOUKIAN, Ann. **Operationalizing Privacy by Design: A Guide to Implementing**. Ontário, Canadá, 2012. Disponível em: <https://www.schwaab.ch/wp-content/uploads/2013/09/operationalizing-pbd-guide.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2021.

CAVOUKIAN, Ann; CHIBBA, Michelle. Start with privacy by design in all big data applications. Guide to big data applications. **Springer Link**, Cham, 2018, p. 29-48. Disponível em:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-53817-4_2. Acesso em: 22 nov. 2021.

CHARITOU, Constantinos D.; MARKIDES, Constantinos C. Responses to disruptive strategic innovation. **MIT Sloan Management Review**, v. 44, n. 2, p. 55-63A, 2003. Disponível em:

<https://www.proquest.com/openview/dca78a4679469bd000ad6e34f882ade8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=26142>. Acesso em: 29 out. 2021.

CHRISTENSEN, Clayton M. et al. Disruptive innovation for social change. **Harvard business review**, v. 84, n. 12, p. 94, 2006. Disponível em: http://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2015/10/Disruptive-Innovation-for-Social-Change_2006.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

CLARKE, Ian. What is freenet? **Freenet**. Disponível em:

<https://freenetproject.org/pages/about.html>. Acesso em: 27 nov. 2021.

COCCO, Luisanna; PINNA, Andrea; MARCHESI, Michele. Banking on blockchain: Costs savings thanks to the blockchain technology. **Future internet**, v. 9, n. 3, p. 25, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-5903/9/3/25>. Acesso em: 07 set. 2021.

CNIL. Comissão Nationale de Línformatique et des Libertés. **Solutions for a responsible use of the blockchain in the contexto of personal data**. 2018. Disponível em: https://www.cnil.fr/sites/default/files/atoms/files/blockchain_en.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

COMISSÃO EUROPEIA. Grupo de trabalho de proteção de dados do artigo 29. **Parecer 05/2014 sobre técnicas de anonimização**. 2018. Disponível em: https://ec.europa.eu/justice/article-29/documentation/opinion-recommendation/files/2014/wp216_pt.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

CRISTÓVAM, José Sérgio da Silva; SAIKALI, Lucas Bossoni; SOUSA, Thanderson Pereira de. Governo digital na implementação de serviços públicos para a concretização de direitos sociais no Brasil. **Sequência (Florianópolis)**, p. 209-242, 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/seq/a/f9mk84ktBCQJFzc87BnYgZv/?format=html>. Acesso em: 17 dez. 2021.

CRISTÓVAM, José Sérgio da Silva; HAHN, Tatiana Meinhart. Administração Pública orientada por dados: Governo aberto e infraestrutura nacional de dados abertos. **Revista de Direito Administrativo e Gestão Pública**, v. 6, n. 1, p. 1-24, 2020. Disponível em: <https://indexlaw.org/index.php/rdagp/article/view/6388/pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

CROITORU, Alin et al. Schumpeter, Joseph Alois, 1939, “Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process”, New York and London, McGraw–Hill Book Company Inc. **Journal of comparative research in anthropology and sociology**, v. 8, n. 01, p. 67-80, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/319503069_Schumpeter_Joseph_Alois_1939_Business_Cycles_A_Theoretical_Historical_and_Statistical_Analysis_of_the_Capitalist_Process. Acesso em: 27 out. 2021.

DA SILVA, Luiz Alberto. A teoria da captura: o dilema entre o interesse público e o privado. 2017. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas do Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/53411>. Acesso em: 25 jan. 2022.

DATA PRIVACY MANAGER. **Pseudonymization according to the GDPR (definitions and examples**. 2021. Disponível em: <https://dataprivacymanager.net/pseudonymization-according-to-the-gdpr/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

DAVIDSON, Sinclair; DE FILIPPI, Primavera; POTTS, Jason. Economics of blockchain. **Available at SSRN 2744751**, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2744751. Acesso em: 21 out. 2021.

DE FILIPPI, Primavera. The Interplay between Decentralization and Privacy: The Case of Blockchain Technologies. **Journal of Peer Production**, Issue n. 7: Alternative Internets, 17 oct. 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2852689>. Acesso em: 03 nov. 2021.

DE FILIPPI, Primavera; WRIGHT, Aaron. **Blockchain & Droit - Le Règne du code (French Edition)**. 2019. [eBook Kindle].

DE MORAIS, Leonardo Stoll. Direito à privacidade no sistema regional interamericano e europeu de direitos humanos. **Revista de Direito Brasileira**, v. 25, n. 10, p. 200-220, 2020. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/rdb/article/view/3902>. Acesso em: 26 jan. 2022.

DENNY, Danielle Mendes Thame; PAULO, Roberto Ferreira; CASTRO, Douglas de. *Blockchain e Agenda 2030*. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 7, n. 3, p. 122-141, dez. 2017. Disponível em: <https://www.publicacoes.uniceub.br/RBPP/article/view/4938>. Acesso em: 27 jun. 2021.

DUQUE, Marcelo Schenk. **Curso de Direitos Fundamentais: teoria e prática**. São Paulo: RT, 2014.

EASTERLIN, Richard A. Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence. **Nations and households in economic growth**. Academic Press, p. 89-125, 1974. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780122050503500087>. Acesso em: 21 set. 2021.

ELKINGTON, John. **Sustentabilidade, canibais com garfo e faca**. São Paulo: M. Books, 2018. [eBook Kindle].

ESCOLA SUPERIOR DE REDES. **Arquitetura TCP/IP: conceitos básicos**. 2020. Disponível em: <https://esr.rnp.br/administracao-e-projeto-de-redes/arquitetura-tcp/ip-conceitos-basicos/>. Acesso em: 30 set. 2021.

EVANGELISTA, Danilo de Faria Reis. **Disseminação segura de conteúdo diante ataques sybil para a internet das coisas**. 2016. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/46227>. Acesso em: 14 fev. 2022.

EYAL, Ittay; SIRER, Emin Gün. Majority is not enough: Bitcoin mining is vulnerable. International conference on financial cryptography and data security. **Springer Link**. Berlin, Heidelberg, 2014. p. 436-454. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-45472-5_28. Acesso em: 12 out. 2021.

FEIGELSON, Bruno. Sandbox: Primeiras Reflexões a Respeito do Instituto. **Revista de Direito e as Novas Tecnologias**, v. 1, out./dez. 2018. Disponível em: [https://www.revistadotribunais.com.br/maf/app/resultList/document?&src=rl&srcguid=i0ad6adc5000001738c805138c3b3f06b&docguid=I71f17070f2de11e8be9f010000000000&hitguid=I71f17070f2de11e8be9f010000000000&spos=3&epos=3&td=5&context=38&crumbaction=append&crumblabel=Documento&isDocFG=false&isFromMultiSumm=&startChunk=1&endChunk=1](https://www.revistadotribunais.com.br/maf/app/resultList/document?&src=rl&srcguid=i0ad6adc5000001738c805138c3b3f06b&docguid=I71f17070f2de11e8be9f01000000000&hitguid=I71f17070f2de11e8be9f010000000000&spos=3&epos=3&td=5&context=38&crumbaction=append&crumblabel=Documento&isDocFG=false&isFromMultiSumm=&startChunk=1&endChunk=1). Acesso em: 30 out. 2021.

FENWICK, Mark; KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P.M. Regulation tomorrow: what happens when technology is faster than the law. **Am. U. Bus. L. Rev.**, v. 6, p. 561, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2834531. Acesso em: 01 nov. 2021.

FILIPPOVA, Evgeniia. Blockchain Materialization as a General Purpose Technology: A Research Framework. **European Conference on Parallel Processing**, Springer, Cham, 2019, p. 216-227. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-48340-1_17. Acesso em: 21 out. 2021.

FINCK, Michèle. **Blockchain and the General Data Protection Regulation: Can distributed ledgers be squared with European data protection law?** Bruxelas: Parlamento Europeu, 2019. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2019\)634445](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2019)634445) Acesso em: 09 nov. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of food insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress**. Roma, 2015. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i4646e/i4646e.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021.

FOLLONI, André. A complexidade ideológica, jurídica e política do desenvolvimento sustentável e a necessidade de compreensão interdisciplinar do problema. **Revista Direitos Humanos Fundamentais**, Osasco, ano 14, n. 1, p. 63-91, jan./jun. 2014.

FREIBERGER, Paul A.; SWAINE, Michael R. "Harvard Mark I". **Encyclopedia Britannica**, 2014. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/Harvard-Mark-I> Acesso em: 8 out. 2021.

FREIBERGER, Paul A. "ENIAC". **Encyclopedia Britannica**, 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/ENIAC> Acesso em: 8 out. 2021.

FREITAS, Juarez. **Direito Fundamental à Boa Administração Pública**. 3. ed. São Paulo: Malheiros, 2014.

FREITAS, Juarez. Teoria da regulação administrativa sustentável. **Revista de Direito Administrativo**, Rio de Janeiro, v. 270, p. 117-145, set./dez. 2015. Disponível em: http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/11504/2/Teoria_da_Regulacao_Sustentavel.pdf. Acesso em: 08 out. 2020.

FREITAS, Juarez. Regulação administrativa e os principais vieses. **Revista de Direito Administrativo e Constitucional**, Belo Horizonte, ano 16, n. 63, p. 93-105, jan./mar. 2016. Disponível em: http://www.bidforum.com.br/bidBiblioteca_periodico_pdf.aspx?i=239593&p=7 Acesso em: 08 out. 2020.

FRIEDRICH, Denise Bittencourt; PHILIPPI, Juliana Horn Machado. Inclusão digital e *blockchain* como instrumentos para o desenvolvimento econômico. **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 1, n. 1, p. 97-115, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/friedrichv1n1/264>. Acesso em: 30 out. 2021.

GABARDO, Emerson; MENENGOLA, Everton. La universalización del acceso a internet como presupuesto para la implementación de los procesos administrativos electrónicos. In CASTILLO, Luiz Ferney Moreno; APONTE, Willian Iván Gallo; VALLE, Vivian Cristina Lima López (coords). **Tecnología, Administración pública y regulación**, p. 295-316, 2021. Disponível em: <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/4456>. Acesso em: 20 jan. 2022.

GABARDO, Emerson. O princípio da eficiência. In: CAMPILONGO, Celso Fernandes; GONZAGA, Álvaro de Azevedo; FREIRE, André Luiz (Coords.). **Enciclopédia jurídica da PUC-SP**. Tomo: Direito Administrativo e Constitucional. Vidal Serrano Nunes Jr., Maurício Zockun, Carolina Zancaner Zockun, André Luiz Freire (Coord. de tomo). 1. ed. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2017. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/82/edicao-1/principio-da-eficiencia,-o>. Acesso em: 14 out. 2020.

GABARDO, Emerson. A felicidade como fundamento teórico do desenvolvimento em um estado social. **Revista Digital de Direito Administrativo**, v. 5, n. 1, p. 99-141, 2018, p. 106. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2319-0558.v5n1p99-141> Acesso em: 02 dez. 2021.

GABARDO, Emerson. A Flexibilização da Legalidade mediante o Prestígio de uma Ideia Equivocada de Eficiência e uma Visão Niilista da Separação dos Poderes. In: HACHEM, Daniel Wunder; GABARDO, Emerson; SALGADO, Eneida Desiree (Coords.). *Direito Administrativo e Suas Transformações Atuais – Homenagem ao professor Romeu Felipe Bacellar Filho. Anais do Seminário da Faculdade de Direito da Universidade Federal do Paraná*. Curitiba: Íthala, 2016.

GAVISON, Ruth. Privacy and the Limits of Law. *The Yale law journal*, v. 89, n. 3, p. 421-471, 1980. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/795891>. Acesso em: 25 jan. 2022.

GICO JR, Ivo T. Direito e desenvolvimento: o papel do direito no desenvolvimento econômico. *Law & Development: The Role of Law in Economic Development*, João Pessoa, v. 8, n. 2, p. 110-127, 2017.

GIUNGATO, Pasquale et al. Current trends in sustainability of Bitcoins and related blockchain technology. *Sustainability*, v. 9, n. 12, p. 2214, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/12/2214>. Acesso em: 07 set. 2021.

GLOBAL PRIVACY ASSEMBLY. **32nd International Conference of Data Protection and Privacy Commissioners**. Resolution on Privacy by Design. Jerusalem, Israel, 2010. Disponível em: <http://globalprivacyassembly.org/wp-content/uploads/2015/02/32-Conference-Israel-resolution-on-Privacy-by-Design.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

GOMES, Filipe Lôbo. Da conformação da maximização do bem-estar ao direito fundamental ao desenvolvimento econômico. *Direito e Desenvolvimento*, v. 8, n. 1, p. 237-254, 2017. Disponível em: <https://45.227.6.12/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/422>. Acesso em: 20 set. 2021.

GROMOVA E.; IVANC T. Regulatory Sandboxes (Experimental Legal Regimes) for Digital Innovations in BRICS. *BRICS Law Journal*, v. 7, n. 2, p. 10-36, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21684/2412-2343-2020-7-2-10-36> Acesso em: 01 nov. 2021.

GUARDA, Teresa et al. Blockchain and Government Transformation. **International Conference on Information Technology & Systems**. Springer, Cham, 2021, p. 88-95. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-68285-9_9. Acesso em: 20 out. 2021.

HACHEM, Daniel Wunder. A noção constitucional de desenvolvimento para além do viés econômico: reflexos sobre algumas tendências do Direito Público brasileiro. **A&C – Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, Belo Horizonte, ano 13, n. 53, p. 133-168, jul./set. 2013. Disponível em: <http://www.revistaaec.com/index.php/revistaaec/article/view/126>. Acesso em: 14 fev. 2022.

HACHEM, Daniel Wunder; TELLO, Diana Carolina Valencia. Reflexiones sobre el derecho fundamental a la buena administración pública en el derecho administrativo

brasileiro, **Revista digital de Derecho Administrativo**, Universidad Externado de Colombia, n. 21, p. 47-75, 2019, p. 47-75. Disponível em: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/5700/7360> Acesso em: 02 dez. 2021.

HACHEM, Daniel Wunder; GABARDO, Emerson. El principio constitucional de eficiencia administrativa: contenido normativo y consecuencias jurídicas de su violación. **Revista Mexicana de Derecho Constitucional**, n. 39, p. 131-167, jul./dez. 2018. Disponível em: <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/cuestionesconstitucionales/article/view/12652>. Acesso em: 03 dez. 2021.

HAMMER, Janet; PIVO, Gary. The triple bottom line and sustainable economic development theory and practice. **Economic Development Quarterly**, v. 31, n. 1, p. 25-36, 2017. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0891242416674808>. Acesso em: 12 set. 2021.

HARRIS, Lucas Losnak. **A teoria austríaca dos ciclos econômicos: seus fundamentos e uma análise da crise de 2008**. (Monografia de Bacharelado). Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2013, p. 38-39. Disponível em: <https://rothbardbrasil.com/wp-content/uploads/arquivos/lucas.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

HAUBEN, Michael. History of ARPANET. **Site de l'Instituto Superior de Engenharia do Porto**, v. 17, 2007. Disponível em: <https://www.jbcoco.com/Arpa-Arpanet-Internet.pdf>. Acesso em 14 fev. 2022.

HEILMAN, Ethan et al. Eclipse attacks on Bitcoin's peer-to-peer network. **24th {USENIX} Security Symposium ({USENIX} Security 15)**. 2015. p. 129-144. Disponível em: <https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity15/technical-sessions/presentation/heilman>. Acesso em: 13 out. 2021.

HERSEN, Amarildo; LIMA, Jandir Ferrera de. O efeito transbordamento da crise econômica internacional. **Textos de Economia**, v. 13, n. 1, p. 25-45, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/economia/article/view/2175-8085.2010v13n1p25>. Acesso em: 06 out. 2021.

HOFMAN, Darra et al. "The margin between the edge of the world and infinite possibility": Blockchain, GDPR and information governance. **Records Management Journal**, 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RMJ-12-2018-0045/full/html>. Acesso em: 22 nov. 2021.

HUGHES, Eric. A cypherpunk's manifesto. **Crypto anarchy, cyberstates, and pirate utopias**, p. 81-83, 1993. Disponível em: https://media1production.mightynetworks.com/asset/4707575/Cypherpunks_Manifesto_1993.pdf. Acesso em: 08 nov. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017 – 2018**: Análise da segurança alimentar no Brasil. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101749.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Desemprego**. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>. Acesso em: 25 nov. 2021.

INFORMATION AND PRIVACY COMMISSIONER; REGISTRATIEKAMER. **Privacy-Enhancing Technologies**: the path to anonymity. Toronto, The Hague: Information and Privacy Commissioner; Registratiekamer, 1995. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/243777645_PrivacyEnhancing_Technologies_The_Path_to_Anonymity. Acesso em: 23 nov. 2021.

JIANG, Shanshan et al. **Blockchain and Sustainability**: A Tertiary Study. Cornell University, 31 mar. 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2103.16937>. Acesso em: 07 set. 2021.

JÚNIOR, Tércio Sampaio Ferraz. Sigilo de dados: o direito à privacidade e os limites à função fiscalizadora do Estado. **Revista da Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo**, v. 88, p. 439-459, 1993. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rfdusp/article/view/67231>. Acesso em: 26 jan. 2022.

KAAL, Wulf A. Dynamic regulation for innovation. **Perspectives in Law, Business & Innovation (Mark Fenwick, Wulf A. Kaal, Toshiyuki Kono & Erik PM Vermeulen eds.)**. New York Springer (2016), U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-22, 2016. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2831040. Acesso em: 29 out. 2021.

KAAL, Wulf A; VERMEULEN, Erik P.M. How to Regulate Disruptive Innovation - From Facts to Data. **Jurimetrics**, v. 57, Issue n. 2, 2017. Forthcoming, U of St. Thomas (Minnesota) Legal Studies Research Paper n. 16-13. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2808044>. Acesso em: 26 out. 2021.

KALIL, Gilberto Alexandre de Abreu; GONÇALVES, Oksandro Osdival. Incentivos fiscais à inovação tecnológica como estímulo ao desenvolvimento econômico: o caso das Start-ups. **Revista Jurídica da Presidência**, Brasília, v. 17, n. 113, p. 497-520, out. 2015; jan. 2016.

KANE, Ethan. Is Blockchain a General Purpose Technology?. **Available at SSRN 2932585**, 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2932585. Acesso em: 25 out. 2021.

KEWELL, Beth; ADAMS, Richard; PARRY, Glenn. Blockchain for good? **Strategic Change**, v. 26, n. 5, p. 429-437, 2017. ISSN 1086-1718. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsc.2143> >. Acesso em: 20 jan. 2022.

KING, Sunny; NADAL, Scott. Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. **Self-published paper**, August, v. 19, n. 1, 2012. Disponível em: <https://www.chainwhy.top/upload/default/20180619/126a057fef926dc286accb372da46955.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

KOSTOFF, Ronald N.; BOYLAN, Robert; SIMONS, Gene R. Disruptive technology roadmaps. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 71, n. 1-2, p. 141-159, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162503000489?via%3DIihub>. Acesso em: 27 out. 2021.

KUZNETS, S. National income. **Encyclopaedia of the Social Sciences**, v. XI, p. 205-224, 1933. Disponível em: <https://www.nber.org/system/files/chapters/c2258/c2258.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

LAKHANI, Karim R.; IANSITI, M. The truth about blockchain. **Harvard Business Review**, v. 95, n. 1, p. 119-127, 2017. Disponível em: <https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain>. Acesso em: 29 set. 2021.

LAMPORT, Leslie; SHOSTAK, Robert; PEASE, Marshall. Concurrency: the Works of Leslie Lamport. The Byzantine generals problem. **ACM Digital Library**, 2019, p. 203-226. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3335772.3335936>. Acesso em: 07 set. 2021.

LANIUS, Danielle Cristina; JUNIOR, Ivo Teixeira Gico; STRAIOTTO, Raquel Maia. O princípio da eficiência na jurisprudência do STF. **Revista de Direito Administrativo**, v. 277, n. 2, p. 107-148, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328646880_O_principio_da_eficiencia_na_jurisprudencia_do_STF. Acesso em 14 fev. 2022.

LEVIN, Avner. Privacy by Design by Regulation: The Case Study of Ontario. **Can. J. Comp. & Contemp. L.**, v. 4, p. 115, 2018. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/cajcccl4&div=7&id=&page=>. Acesso em: 22 nov. 2021.

LI, Guoping; HOU, Yun; WU, Aizhi. Fourth Industrial Revolution: technological drivers, impacts and coping methods. **Chinese Geographical Science**, v. 27, n. 4, p. 626-637, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11769-017-0890-x>. Acesso em: 14 fev. 2022.

LIMA, Claudio. Blockchain GDPR privacy by design. **IEEE Blockchain Group**, 2018. Disponível em: <https://blockchain.ieee.org/images/files/pdf/blockchain-gdpr-privacy-by-design.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

LYRA, João Guilherme. **Blockchain e Organizações Descentralizadas**. Rio de Janeiro: Brasport, 2019.

MARCHANT, Gary E. The growing gap between emerging technologies and the law. The growing gap between emerging technologies and legal-ethical oversight. **Springer Link**, Dordrecht, 2011. p. 19-33. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_2 Acesso em: 01 nov. 2021.

MARCHANT, Gary E; SYLVESTER, Douglas J.; ABBOTT, Kenneth W. Risk management principles for nanotechnology. **NanoEthics**, v. 2, n. 1, p. 43-60, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11569-008-0028-9>. Acesso em: 30 out. 2021.

MARX, Karl. **Contribuição à crítica da economia política**. São Paulo: Martins Fontes, 2016. [eBook Kindle].

MAY, Timothy. The crypto anarchist manifesto. **High Noon on the Electronic Frontier: Conceptual Issues in Cyberspace**, 1992. Disponível em: <https://libinst.cz/wp-content/uploads/2020/08/havel.pdf>. Acesso em: 07 out. 2021.

MCCRAW, Thomas K. **O Profeta da Inovação: Joseph Schumpeter e a destruição criativa**. São Paulo: Record, 2012.

MEADOWS, Donella H.; RANDERS, Jorgen; MEADOWS, Dennis L. **The Limits to Growth (1972)**. New York: Universe Books, 1972. Disponível em: <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2021.

MELLO, Celso Antônio Bandeira de. **Discricionariedade e controle jurisdicional**. 2. ed. 12ª tiragem. São Paulo: Malheiros, 2017.

MELLO, Marcus Vinícius Ramon Soares de. Fintechs: Conceito, Espécies e Discussões Relevantes. **Revista de Direito Bancário e do Mercado de Capitais**, v. 85, p. 109-136, jul./set. 2019. Disponível em: <https://www.revistadoatribunais.com.br/maf/app/resultList/document?&src=rl&srguid=i0ad6adc50000017390596d8f48758ea6&docguid=I7d8fb780b5a611e9a96a010000000000&hitguid=I7d8fb780b5a611e9a96a010000000000&spos=4&epos=4&td=29&context=61&crumbaction=append&crumblabel=Documento&isDocFG=false&isFromMultiSumm=&startChunk=1&endChunk=1>. Acesso em: 27 jul. 2020.

MENDES, Gilmar Ferreira. Curso de Direito Constitucional. 13 ed. São Paulo, Saraiva Educação, 2018.

MENENGOLA, Everton. A tecnologia *blockchain* nos processos da administração Pública. In: AMORIN, José de Campos; VEIGA, Fábio da Silva; AZEVEDO, Patrícia Anjos (coords). **Desafios do Legaltech**. Porto: Iberojur e Instituto de Contabilidade e Administração do Porto. 2020, p. 379-389. Disponível em: https://www.academia.edu/44394475/DESAFIOS_DO_LEGALTECH. Acesso em 14 fev. 2022.

MEWES, Luke Henrique. **Blockchain e exclusão de dados: a compatibilidade entre a tecnologia e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD)**. 2021. 108 f. Monografia (Graduação em Direito) – Centro Universitário Curitiba, Curitiba, 2021.

MILKES, Irit S. Buena administración y la motivación de los actos administrativos expedidos em ejercicio de facultades discricionales. **Revista Digital de Derecho Administrativo**, n. 21, p. 153-178, nov. 2018. Disponível em: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/5703> Acesso em: 02 dez. 2021.

MILOJICIC, Dejan S. et al. **Peer-to-peer computing**. 2002. Disponível em: <https://www.cs.kau.se/cs/education/courses/dvad02/p2/seminar4/Papers/HPL-2002-57R1.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2021.

MORASSUTTI, Bruno Schmitt. **Regulação de tecnologias e arquitetura de sistemas: um estudo sobre o privacy by design e a transparência aplicada a algoritmos computacionais**. 2019. 182 f. p. 77. Dissertação (Mestrado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019, p. 77. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/8794>. Acesso em: 23 nov. 2021.

MORETTINI, Felipe Tadeu Ribeiro; GONÇALVES, Oksandro Osdival. Análise econômica do controle judicial dos contratos de concessão e sua importância para o desenvolvimento. **Revista de Informação Legislativa**, Brasília, ano 51, n. 203, jul./set. 2014. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/51/203/ril_v51_n203_p73.pdf. Acesso em: 28 jul. 2020.

MORTE, Anderson Boa et al. Uma Análise Sobre o Uso de DLTs no Tratamento de Dados Pessoais: Aderência aos Princípios e Direitos elencados na LGPD. **Anais do III Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologia e Aplicações**, SBC, 2020, p. 74-87. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/12435>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MÖSER, Malte; BÖHME, Rainer; BREUKER, Dominic. An inquiry into money laundering tools in the Bitcoin ecosystem. **2013 APWG eCrime researchers summit**. Ieee, 2013, p. 1-14. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6805780>. Acesso em: 03 nov. 2021.

MOSES, Lyria Bennett. Agents of change: How the law 'Copes' with technological change. **Griffith Law Review**, v. 20, n. 4, p. 763-794, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228183289_Agents_of_Change_How_the_Law_Copes_with_Technological_Change. Acesso em: 01 nov. 2021.

MOURA, Emerson Affonso da Costa. Agências, expertise e profissionalismo: o paradigma da técnica na administração pública. **Revista de Direito Administrativo**, v. 254, p. 67-94, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/295243010_Agencias_expertise_e_profissionalismo_o_paradigma_da_tecnica_na_administracao_publica. Acesso em: 07 fev. 2022.

MOURA, Emerson Affonso da Costa. Estado gerencial, regulação econômica e serviços públicos—O papel das agências na promoção do desenvolvimento. **A&C-Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, v. 14, n. 57, p. 193-217, 2014. Disponível em: <http://www.revistaaec.com/index.php/revistaaec/article/view/90>. Acesso em: 06 fev. 2022.

MOURA, Emerson Affonso da Costa. Estado regulador, direito humano-fundamental ao desenvolvimento e agências reguladoras. **Anuario de Derecho Constitucional Latinoamericano**, p. 57, 2017. Disponível em: http://bivisce.corteconstitucional.gob.ec/bases/biblo/texto/KONRAD/2017_ADC.pdf#page=53. Acesso em: 07 fev. 2022.

MUKHERJEE, Pratyusa; PRADHAN, Chittaranjan. Blockchain 1.0 to Blockchain 4.0 - The Evolutionary Transformation of Blockchain Technology. **Blockchain Technology: Applications and Challenges**. Springer, Cham, 2021, p. 29-49. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69395-4_3. Acesso em: 20 out. 2021.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. 2008. Disponível em: <https://www.Bitcoinpaper.info/Bitcoinpaper-html/>. Acesso em: 10 out. 2021.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin P2P e-cash paper**. The Mail Archive, 07 nov. 2008. Disponível em: <https://www.mail-archive.com/cryptography@metzdowd.com/msg09971.html>. Acesso em: 11 out. 2021.

NAVES, Jeroen et al. Legal Aspects of Blockchain. **Innovations: Technology, Governance, Globalization**, v. 12; n. 3-4, p. 88-93, 2019. Disponível em: <https://direct.mit.edu/itgg/article/12/3-4/88/9850/Legal-Aspects-of-Blockchain>. Acesso em: 04 nov. 2021.

NETO, Eugênio Facchini; DEMOLINER, Karine Silva. Direito à Privacidade e Novas Tecnologias: Breves Considerações Acerca da Proteção de Dados Pessoais no Brasil e na Europa. **Revista Internacional Consinter De Direito**, Ano IV—Número VII, v. 7, 2019. Disponível em: <https://revistaconsinter.com/es/revistas/ano-iv-numero-vii/direitos-difusos-coletivos-e-individuais-homogeneos/direito-a-privacidade-e-novas-tecnologias-breves-consideracoes-acerca-da-protecao-de-dados-pessoais-no-brasil-e-na-europa/>. Acesso em: 25 jan. 2022.

NETTO, Luísa Cristina Pinto e; MENENGOLA, Everton J. F. European Green Deal, digital economy, and blockchain: the path to sustainability? **International Journal of Digital Law**, Belo Horizonte, ano 2, n. 2, p. 11-32, maio/ago. 2021. DOI: 10.47975/IJDL.netto.v.2.n.2. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/netto2021/227>. Com acesso em: 20 jan. 2022.

NGUYEN, Cong T. et al. Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: fundamentals, applications and opportunities. **IEEE Access**, v. 7, p. 85727-

85745, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8746079>. Acesso em: 18 out. 2021.

OLIVEIRA, Andressa Jarletti Gonçalves de; DESIDÉRIO, Luiz Gustavo Mussolini. Resenha: “FinTech: Desafios da Tecnologia Financeira”, coordenado por Ana Perestrelo de Oliveira. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 417-421, maio/ago. 2018.

OLUWATOSIN, Haroon Shakirat. Client-server model. **IOSRJ Comput. Eng**, v. 16, n. 1, p. 2278-8727, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/ShakiratSulyman/publication/271295146_Client-Server_Model/links/5864e11308ae8fce490c1b01/Client-Server-Model.pdf. Acesso em: 08 nov. 2021.

O'NEILL, Judy E. The Role of ARPA in the Development of the ARPANET, 1961-1972. **IEEE Annals of the History of Computing**, v. 17, n. 4, p. 76-81, 1995. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/477437>. Acesso em: 14 fev. 2022.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948**. Disponível em: <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Declara%C3%A7%C3%A3o-Universal-dos-Direitos-Humanos/declaracao-universal-dos-direitos-humanos.html>. Acesso em: 09 out. 2020.

_____. Organização das Nações Unidas. **Pacto Internacional dos Direitos Civis e Políticos**. 1966. Disponível em: <https://www.oas.org/dil/port/1966%20Pacto%20Internacional%20sobre%20Direitos%20Civis%20e%20Pol%C3%ADticos.pdf>. Acesso em 31 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA FAO – BRASIL. **O estado da segurança alimentar e nutricional no Brasil 2015**. Brasília, out. 2015. Disponível em: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/FAOcountries/Brasil/docs/SOFI_Brasil_2015_final.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

OZCAN, Sercan; UNALAN, Serhan. Blockchain as a General-Purpose Technology: Patentometric Evidence of Science, Technologies, and Actors. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 2020. Disponível em: https://pure.port.ac.uk/ws/portalfiles/portal/26291365/OZCAN_2020_cright_Blockchain_as_a_general_purpose_technology.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

PACIOLI, Luca. **Summa de Arithmetica geometria proportioni: et proportionalita**. Paganino de paganini, 1994. Disponível em: <https://play.google.com/books/reader?id=iqgPe49fhrsC&pg=GBS.RA1PA7IA1&hl=pt>. Acesso em: 22 out. 2021.

PARLAMENTO EUROPEU. **Carta dos Direitos Fundamentais da União Europeia**. 2000. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:12016P/TXT&from=FR>. Acesso em: 20 jan. 2022.

PENSAMENTO VERDE. **Clube de Roma e o relatório “Os Limites do Crescimento (1972)”**. 2014. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/clube-roma-relatorio-limites-crescimento-1972/>. Acesso em: 29 jun. 2021

PIERONI, Alessandra et al. Smarter city: smart energy grid based on blockchain technology. **Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol**, v. 8, n. 1, p. 298-306, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/325990380>. Acesso em: 20 out. 2021.

PIMENTA, Eduardo Goulart. Blockchain e a solução para o "problema da confiança". **Economic Analysis of Law Review**, v. 11, n. 3, p. 209-222, 2020. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/fe655fbd33bed8490b9a99e74453275a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1226335>. Acesso em: 05 nov. 2021.

PITTERI, Sirlei. Tecnologias disruptivas e seus reflexos na economia e governos. Centro de Estudos Sociedade e Tecnologia. **Boletim**, Universidade de São Paulo – USP, v. 1, n. 8, out. 2016. Disponível em: <http://www.cest.poli.usp.br/wp-content/uploads/2018/08/V1N8-Tecnologias-disruptivas-e-seus-reflexos-na-economia-e-governos.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

POLIDO, Fabrício B. Pasquot et al. GDPR e suas repercussões no direito brasileiro: primeiras impressões de análise comparativa. **Instituto de Referência em Internet e Sociedade**, Belo Horizonte, v. 208, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328785001_GDPR_e_suas_repercussoes_no_direito_brasileiro_primeiras_impressoes_e_analise_comparativa. Acesso em: 23 nov. 2021.

POLITOU, Eugenia et al. Blockchain mutability: Challenges and proposed solutions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822518_Blockchain_Mutability_Challenges_and_Proposed_Solutions. Acesso em: 17 nov. 2021.

POPA, Mihaela. Drawing parallels between TCP/IP and the blockchain. **Blockchain Works**, 2021. Disponível em: <https://blockchain.works-hub.com/learn/Drawing-Parrallels-between-TCP-IP-and-the-Blockchain>. Acesso em: 06 out. 2021.

PRATES, Marcelo M. Money in the Twenty-First Century: From Rusty Coins to Digital Currencies. **Ohio St. Bus. LJ**, v. 15, p. 164, 2021. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3781269. Acesso em: 14 fev. 2022.

PUCCINELLI, O. R. **Blockchains y otras formas de contabilidad distribuída (DLT) y su impacto em la protección de los datos personales**. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3akRFjl>. Acesso em: 10 nov. 2021.

QUEIROZ, Daniel Rodrigues. **Os conflitos entre a Lei Geral de Proteção de Dados pessoais e a tecnologia blockchain**. 2020. 38 f. TCC (Engenharia de Produção) –

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/882>. Acesso em: 14 fev. 2022.

REDE PENSSAN – Rede Brasileira de Pesquisa em Soberania e Segurança Alimentar e Nutricional. **Insegurança Alimentar e COVID-19 no Brasil**, 2021. Disponível em: http://olheparaafome.com.br/VIGISAN_Inseguranca_alimentar.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

REVOREDO, Tatiana. *Blockchain* como uma arquitetura reguladora: smart contracts como ferramenta ao direito. **Revista Criptomoedas e Blockchain Descomplicadas para Advogados**, São Paulo, Enalaw, v. 1, n. 1, 2019.

REVOREDO, Tatiana. **Blockchain**: Tudo o que você precisa saber. São Paulo: The Global Strategy, 2019b.

RICARDO, David. **Princípios de economia política e tributação**. LeeBooks Editora, 2018. [eBook Kindle].

SALEH, Fahad. Blockchain without waste: Proof-of-stake. **The Review of financial studies**, v. 34, n. 3, p. 1156-1190, 2021. Disponível em: <https://academic.oup.com/rfs/article/34/3/1156/5868423?login=true>. Acesso em: 15 out. 2021.

SALGADO, Eneida Desiree; SAITO, Vitoria Hiromi. Privacidade e proteção de dados: por uma compreensão ampla do direito fundamental em face da sua multifuncionalidade. *International Journal of Digital Law*, Belo Horizonte, ano 1, n. 3. p. 117-137, set./ dez. 2020. Disponível em: <https://journal.nuped.com.br/index.php/revista/article/view/saito2020/25>. Acesso em 26 jan. 2022.

SANTOS, Flávio Augusto de Oliveira. O Desenvolvimento Nacional sustentável como Direito Fundamental à Luz da Constituição de 1988. **Revista de Direito Brasileira**, v. 1, p. 27-50, jul./dez. 2011. Disponível em: <https://www.revistadoatribunais.com.br/maf/app/resultList/document?&src=rl&srguid=i0ad82d9b000001739677c07b89121475&docguid=lb8a474200a1211e1a6a3010000000000&hitguid=lb8a474200a1211e1a6a3010000000000&spos=1&epos=1&td=4000&context=40&crumbaction=append&crumblabel=Documento&isDocFG=false&isFromMultiSumm=&startChunk=1&endChunk=1>. Acesso em: 28 jul. 2020.

SANTOS, Josilenni de Alencar Fonseca. **A proteção de dados como um direito fundamental no Brasil: uma análise da sua fundamentalidade material para a construção de uma estrutura dogmática**. 100 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Brasileiro De Ensino, Desenvolvimento E Pesquisa (IDP). Teresina, PI. 2021. Disponível em: <http://191.232.186.80/handle/123456789/3351>. Acesso em: 14 fev. 2022.

SCHMIDT, Albano Francisco; GONÇALVES, Oksandro Osdival. Os custos de transação derivados do desenvolvimento e aplicação dos Direitos Humanos no Brasil: uma análise breve dos gastos federais em saúde e educação. **Revista de Derechos**

Humanos y Estudios Sociales, n. 14, ano VII, jul./dez. 2015. Disponível em: <http://www.derecho.uaslp.mx/Documents/Revista%20REDHES/N%C3%BAmero%2014/Redhes14-01.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2020.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**. Coleção os Economistas. São Paulo, Nova Cultural Ltda, 1997.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **History of Economic Analysis**. Routledge, 2006, posição 2148. [eBook Kindle].

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Capitalismo, socialismo e democracia**. LeBooks Editora, 2020. [eBook Kindle].

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016, posição 422 de 3204. [eBook Kindle].

SCOBAR, David A. Ortiz; BELTRÁN, Sérgio Ordonez. Buena administración, transparencia y eficiencia: evidencia de los municipios de Colombia. **Revista digital de Derecho Administrativo**, Universidad Externado de Colombia, n. 21, p. 179-199, 2019. Disponível em:

<https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/5704> Acesso em: 02 dez. 2021.

SERPRO. Serviço Federal de Processamento de Dados. **Serpro desenvolve rede blockchain para Receita Federal**. Disponível em:

<https://www.serpro.gov.br/menu/imprensa/Releases/serprodesenvolveredeblockchain-para-a-receita-federal>. Acesso em: 25 jul. 2020.

SHEN, Charles; PENA-MORA, Feniosky. Blockchain for cities - a systematic literature review. **Ieee Access**, v. 6, p. 76787-76819, 2018. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8531608>. Acesso em: 31 ago. 2021.

SILVA, Dalvanir Avelino; NELSON, Aline Virginia Medeiros; SILVA, Maria Aparecida Ramos. Do Desenvolvimento como Crescimento Econômico ao Desenvolvimento como Liberdade: A Evolução de um Conceito. **Desenvolvimento em Questão**, v. 16, n. 42, p. 42-71, 2018. Disponível em:

<https://revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/5827>. Acesso em: 14 fev. 2022.

SIMEÃO, Álvaro Osório do Valle; VARELLA, Marcelo Dias. A impossibilidade de regulação jurídica nacional do blockchain: rumo à um direito criptográfico? **Revista Direitos Culturais**, Santo Ângelo, v. 13, n. 31, p. 43-70, 2018. Disponível em:

<https://static1.squarespace.com/static/52a23eaae4b0a695ee3d229c/t/5d83c6bb3d971d6aab0af620/1568917180896/03++Marcelo+Varella++Impossibilidade+de+regulac%CC%A7a%CC%83o+juri%CC%81dica+nacional+do+Blockchain.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

SPIELER, Paula Bartolini. Evolução histórica e conceituação do Direito ao Desenvolvimento. **Especial-Núcleo de Direitos Humanos**, p. 43. Disponível em: <https://revistades.jur.puc->

rio.br/index.php/revistades/article/viewFile/333/305#page=43. Acesso em 31 mar. 2022.

SWAN, Melanie. **Blockchain: blueprint for a New Economy**. Prefácio, 2015. [e-book KOBO].

TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. Realizing the potential of blockchain. **World Economic Forum**. 2017. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Realizing_Potential_Blockchain.pdf. Acesso em: 06 out. 2021.

TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. **Blockchain Revolution: Como a tecnologia por trás do Bitcoin está mudando o dinheiro, os negócios e o mundo**. São Paulo: Senai, 2019. [E-book KOBO].

THE ECONOMIST. **The Trust Machine: How the technology behind Bitcoin could change the world**. 2015. Disponível em: <https://www.economist.com/weeklyedition/2015-10-31>. Acesso em: 29 jul. 2020.

THOMPSON, Ronald Cesar. **Relato de Iniciativa nº 107**. Projeto b-CPF e b-CNPJ – *Blockchain* das bases de cadastro fiscal. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4727/1/Relato_1_lugar__Ronald.pdf. Acesso em: 26 jul. 2020.

TOR PROJECT. **History**. Disponível em: <https://www.torproject.org/about/history/>. Acesso em: 27 nov. 2021

UC BERKELEY. **Tsinghua-Berkeley Shenzhen Institute**. Disponível em: <https://tbsi.berkeley.edu/> Acesso em: 02 dez. 2021.

ULRICH, Fernando. **Bitcoin: a moeda da era digital**. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2014.

UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016. **Jornal Oficial da União Europeia**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0679>. Acesso em: 06 nov. 2021

_____. **Carta dos direitos fundamentais da União Europeia**. Bruxelas: Parlamento Europeu, 2000. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/charter/pdf/text_pt.pdf. Acesso em: 09 nov. 2021

UNITED NATIONS. **United Nations Conference on the Human Environment (Stockholm Conference)**, 1972. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment>. Acesso em: 29 jun. 2021.

_____. **Report of United Nations Conference on the Human Inviromental**, 1972. Disponível em:

https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/CONF.48/14/REV.1. Acesso em: 29 jun. 2021.

_____. **Resolution adopted by the General Assembly on 16 September 2005.**

Nova York, 2005. Disponível em:

https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_60_1.pdf Acesso em: 12 set. 2021.

_____. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.**

Nova York, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 27 jun. 2021.

UPADHYAY, Arvind et al. Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, p. 126130, 15 abr. 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621003504>. Acesso em: 08 set. 2021.

VAN BLARKOM, G. W.; BORKING, J. J.; OLK, J.G. E. Handbook of privacy and privacy-enhancing technologies. **Privacy Incorporated Software Agent (PISA) Consortium, The Hague**, v. 198, 2003. Disponível em:

https://andrewpatrick.ca/pisa/handbook/Handbook_Privacy_and_PET_final.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

VASCONCELOS, Francisco de Assis Guedes de et al. Public policies of food and nutrition in Brazil: From Lula to Temer. **Revista de Nutrição**, v. 32, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/x5nRd9jQX8dZPmg8JqwrXBD/abstract/?lang=en>. Acesso em: 24 nov. 2021.

VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

VIEIRA, Eduardo. **Os Bastidores da Internet: A história de quem criou os primeiros negócios digitais do Brasil**, 2018. [eBook Kindle].

VIRIYASITAVAT, Wattana et al. Blockchain and internet of things for modern business process in digital economy—the state of the art. **IEEE Transactions on Computational Social Systems**, v. 6, n. 6, p. 1420-1432, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8744245>. Acesso em: 26 jun. 2021.

W3C. World Wide Web Consortium. **W3C Mission**. Disponível em:

<https://www.w3.org/Consortium/mission>. Acesso em: 08 nov. 2021.

WCED. World Commission for Environmental and Development. **Our Common Future: Report of the World Commission for Environment and Development**, WCED. New York, 1987. Disponível em:

<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987ourcommonfuture.pdf> Acesso em: 10 set. 2021.

WEDY, Gabriel de Jesus Tedesco. Desenvolvimento (Sustentável) e a ideia de Justiça em Amartya Sen. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 343-376, set./dez. 2017, p. 348. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/direitoeconomico/article/view/7616> Acesso em: 02 dez. 2021.

WEIDAI. 1998. Disponível em: <http://www.weidai.com/bmoney.txt>. Acesso em: 10 out. 2021.

WILSON, John P. The triple bottom line: Undertaking an economic, social, and environmental retail sustainability strategy. **International Journal of Retail & Distribution Management**, 2015. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJRDM-11-2013-0210/full/html>. Acesso em: 09 set. 2021.

WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia. **Available at SSRN 2580664**, 2015. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2580664. Acesso em: 22 out. 2021.

XIAO, Yang et al. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 2, p. 1432-1465, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8972381> Acesso em: 12 out. 2021.

XU, Min; CHEN, Xingtong; KOU, Gang. A systematic review of blockchain. **Financial Innovation**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40854-019-0147-z>. Acesso em: 20 out. 2021.

ZHANG, Rong; CHAN, Wai Kin Victor. Evaluation of energy consumption in blockchains with proof of work and proof of stake. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, 2020, p. 012023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1584/1/012023/meta>. Acesso em: 16 out. 2021.